

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Evaluación y aprovechamiento energético de residuos de trujal



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Xabier Senosiain Corera

Tutor: Juan José Aguas Alcalde

Pamplona, mayo de 2017

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer especialmente la ayuda prestada por mi tutor D. Juan José Aguas Alcalde, por su paciencia e interés en que todo salga adelante de la mejor manera posible. También me gustaría agradecer al profesor Natxo Irigoyen su colaboración en el proyecto prestándonos las muestras de alperujo, el laboratorio y acceso a los resultados obtenidos.

A mi familia, en especial a mi novia Amaia, por haber estado siempre a mi lado y animarme a superar cada obstáculo que me he encontrado en mi camino, ya que sin su apoyo en los buenos y en los malos momentos no hubiera sido capaz de realizar este trabajo.

Por último, a todos mis amigos, en especial a los de la Universidad, por todas las amistades que he hecho durante estos años.

Resumen

El presente trabajo consiste en la evaluación sobre el posible aprovechamiento energético de residuos producidos en trujales. Se pretende realizar una valoración energética de los residuos en función del grado de humedad y analizar su posible aprovechamiento como biomasa en calderas.

En el mismo se expondrán los resultados obtenidos durante dos campañas distintas de recogida de olivas en el trujal Mendía de Arróniz y se estudiará su posible aprovechamiento energético dependiendo de la humedad del residuo. Se incluirán las principales ventajas e inconvenientes del residuo como biomasa, así como calderas disponibles en el mercado actual para su uso en las mismas como biocombustible.

Palabras clave: Alperujo, biomasa, poder calorífico, calorímetro, residuos de trujal.

Índice

1. Objetivos y estructura del proyecto.....	1
2. Antecedentes.....	3
3. Proceso obtención de aceite.....	4
3.1 Variedades olivos en España.....	4
3.2 Proceso elaboración aceite.....	6
3.2.1 Recolección de la aceituna.....	7
a) A mano.....	8
b) Vareo.....	9
c) Mecánico.....	10
3.2.2 Recogida de olivas.....	11
3.2.3 Molienda.....	15
3.2.4 Batido.....	16
3.2.5 Extracción.....	21
a) Extracción por presión.....	18
b) Extracción por centrifugación.....	18
3.2.6 Decantación.....	21
3.2.7 Envasado.....	22
3.3 Análisis de compuestos orgánicos e inorgánicos.....	23
4. Combustión.....	24
4.1 Fundamentos de la combustión.....	24
4.2 Poder calorífico.....	25
4.3 Tipos de combustible.....	27

5. Ensayos poder calorífico superior.....	29
5.1 Material utilizado y lugar para la realización del proyecto.....	29
5.2 Procedimiento de los ensayos.....	39
a) Pre-combustión.....	44
b) Post-combustión.....	44
5.3 Datos obtenidos en los ensayos.....	45
5.3.1 Primer ensayo campaña 2014-2015.....	45
5.3.2 Segundo ensayo campaña 2014-2015.....	50
5.3.3 Ensayo campaña 2015-2016.....	54
5.4 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad.....	58
5.4.1 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en los primeros ensayos de la campaña 2015-2016.....	60
a) Comprobación 14,9 % de humedad.....	60
b) Comprobación 35,32 % de humedad.....	61
5.4.2 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en los segundos ensayos de la campaña 2015-2016.....	62
a) Comprobación 11,27 % de humedad.....	62
b) Comprobación 33,35 % de humedad.....	63
5.4.3 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en los ensayos de la campaña 2015-2016.....	64
a) Comprobación 12,2 % de humedad.....	64
b) Comprobación 40,79 % de humedad.....	65
5.5 Límite de porcentaje de humedad con el cual se produce la combustión.....	66

5.6 Secado del residuo del trujal.....	68
5.6.1 Secado a la intemperie.....	68
a) Mejora de secado a la intemperie.....	80
5.6.2 Secado mediante centrifugación.....	80
5.7 Secado final para uso como combustible.....	81
5.7.1 Cantidad necesaria de alperujo para secar otra cantidad de residuo.....	82
5.8 Comparativa combustibles.....	84
6. Calderas para uso doméstico e industrial.....	85
6.1 Calderas.....	85
6.2 Comparativa de calderas.....	98
7. Estudio energético en una vivienda.....	100
7.1 Cálculo potencias y demandas en vivienda.....	100
7.1.1 Cálculo de la potencia necesaria.....	100
a) Potencia requerida por calefacción.....	100
b) Potencia requerida por agua corriente sanitaria (A.C.S.).....	102
7.1.2 Cálculo de la demanda energética.....	103
a) Demanda energética calefacción.....	103
b) Demanda energética agua corriente sanitaria (A.C.S.).....	104
7.1.3 Combustible necesario.....	105
7.1.4 Espacio requerido para el combustible.....	106
7.1.5 Comparativa de combustibles.....	107
8. Conclusiones y líneas de futuro.....	108

BIBLIOGRAFÍA.....	111
PLANO.....	115
ANEXO: Características técnicas caldera Hergom Gredos 25.....	119

Índice de imágenes

<i>Imagen 1: Distribución olivares en España.....</i>	<i>5</i>
<i>Imagen 2: Lámpara de aceite.....</i>	<i>6</i>
<i>Imagen 3: Salida aceite de oliva.....</i>	<i>6</i>
<i>Imagen 4: Aceite de oliva.....</i>	<i>7</i>
<i>Imagen 8: Recogida de oliva a mano.....</i>	<i>8</i>
<i>Imagen 9: Recogida de oliva a vareo.....</i>	<i>9</i>
<i>Imagen 10: Recogida de oliva mecánica.....</i>	<i>10</i>
<i>Imagen 11: Recogida de olivas.....</i>	<i>11</i>
<i>Imagen 12: Almacenamiento de olivas.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 13: Criba.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 14: Cinta transportadora 1.....</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 15: Cinta transportadora 2.....</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 16: Tolva.....</i>	<i>14</i>
<i>Imagen 17: Molinos de martillo.....</i>	<i>15</i>
<i>Imagen 18: Batidora.....</i>	<i>17</i>
<i>Imagen 19: Perfil centrifugadora.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 20: Centrifugadora.....</i>	<i>20</i>
<i>Imagen 21: Salida centrifugadora.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 22: Depósitos decantación.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 23: Envasado aceite de oliva.....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 24: Calorímetro.....</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 25: Calentador.....</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 26: Refrigerador.....</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 27: Cubeta.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 28: Bomba calorimétrica.....</i>	<i>33</i>

<i>Imagen 29: Bombona de oxígeno.....</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 30: Alambre.....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 31: Cápsula de combustible.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 32: Prensa.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 33: Báscula de precisión.....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 34: Estufa.....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 35: Báscula de precisión.....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 38: Estufa de convección forzada.....</i>	<i>40</i>
<i>Imagen 39: Colocación bomba calorífica.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 40: Terminal oxígeno.....</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 41: Conexiones corriente.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 42: Alperujo y naranjas.....</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 43: Alperujo, naranjas y hojas de olivos.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 44: Plástico protección lixiviados.....</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 45: Alperujo, naranjas y hojas de olivos.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 46: Residuo con mes y medio de secado.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 47: Residuo a mediados de abril.....</i>	<i>74</i>
<i>Imagen 48: Grietas residuo.....</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 49: Grietas residuo general.....</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 50: Residuo en mayo.....</i>	<i>76</i>
<i>Imagen 51: Color del residuo en mayo.....</i>	<i>76</i>
<i>Imagen 52: Parte de residuo secado a la intemperie.....</i>	<i>77</i>
<i>Imagen 53: Tamaño del residuo.....</i>	<i>77</i>
<i>Imagen 54: Feria Biomasa en tu casa.....</i>	<i>86</i>
<i>Imagen 55: Hergom Gredos 25.....</i>	<i>87</i>
<i>Imagen 56: Hergom Gredos 30.....</i>	<i>90</i>
<i>Imagen 57: Dooel-Retifica.....</i>	<i>92</i>
<i>Imagen 58: Lasian biomax.....</i>	<i>94</i>
<i>Imagen 59: Metal Fach.....</i>	<i>96</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Primer ensayo campaña 2014-2015 Humedad 8,17 %.</i>	47
<i>Tabla 2: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 14,9 %</i>	47
<i>Tabla 3: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 19,32%</i>	47
<i>Tabla 4: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 22,24 %</i>	47
<i>Tabla 5: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 25,39 %</i>	48
<i>Tabla 6: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 27,19 %</i>	48
<i>Tabla 7: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 35,32 %</i>	48
<i>Tabla 8: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 41,68 %</i>	48
<i>Tabla 9: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 1,26 %</i>	50
<i>Tabla 10: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 6,02 %</i>	50
<i>Tabla 11: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 1,26 %</i>	51
<i>Tabla 12: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 13,9 %</i>	51
<i>Tabla 13: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 20,53 %</i>	51
<i>Tabla 14: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 23,84 %</i>	51
<i>Tabla 15: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 29,3 %</i>	52
<i>Tabla 16: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 35,35 %</i>	52
<i>Tabla 17: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 38,42 %</i>	52
<i>Tabla 18: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 2,38 %</i>	54
<i>Tabla 19: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 7,4 %</i>	54
<i>Tabla 20: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 12,2 %</i>	55
<i>Tabla 21: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 17,45 %</i>	55
<i>Tabla 22: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 20,34 %</i>	55
<i>Tabla 23: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 25,81 %</i>	55
<i>Tabla 24: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 30,57 %</i>	56
<i>Tabla 25: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 35,69 %</i>	56
<i>Tabla 26: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 40,79 %</i>	56
<i>Tabla 27: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 45,20 %</i>	56
<i>Tabla 28: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 49,7 %</i>	57
<i>Tabla 29: Comprobación 14,9 % de humedad. Primer ensayo campaña 2014-2015.</i>	61

<i>Tabla 30: Comprobación 35,32 % de humedad. Primer ensayo campaña 2014-2015.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 31: Comprobación 11,27 % de humedad. Segundo ensayo campaña 2014-2015.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 32: Comprobación 33,35 % de humedad. Segundo ensayo campaña 2014-2015.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 33: Comprobación 12,2 % de humedad. Ensayo campaña 2015-2016.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 34: Comprobación 40,79 % de humedad. Ensayo campaña 2015-2016.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 35: Ensayos iniciales secado 26/11/2013.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 36: Ensayos secado 20/03/2014.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 37: Ensayos secado 22/04/2014.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 38: Comparativa biocombustibles.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 39: Comparativa de calderas.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 40: Humedad 17,45 %. Ensayo campaña 2015-2016.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 41: Comparativa poder calorífico biocombustibles.....</i>	<i>107</i>

Índice de gráficas

<i>Gráfica 1: P.C.S. primeros ensayos campaña 2014-2015.....</i>	<i>49</i>
<i>Gráfica 2: P.C.S. segundos ensayos campaña 2014-2015.....</i>	<i>53</i>
<i>Gráfica 3: P.C.S. ensayos campaña 2015-2016.....</i>	<i>57</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1: Clasificación combustibles industriales.....</i>	<i>28</i>
---	-----------

1.Objetivos y estructura del trabajo

El presente trabajo se centra en la evaluación y el posible aprovechamiento energético de los residuos generados en los trujales durante su funcionamiento para la producción de aceite. Su objetivo principal es la evaluación energética del alperujo, dependiendo del contenido de humedad presente en la muestra, y su posible aprovechamiento en una caldera de biomasa.

Para ello, se definen los siguientes objetivos específicos:

1^{er} objetivo: Evaluación energética de los residuos producidos en un trujal.

Se realizarán ensayos mediante un calorímetro ubicado en el laboratorio de Termotecnica de la Universidad Pública de Navarra para la obtención del poder calorífico superior de las muestras de alperujo. Previamente a dichos ensayos, se realizará un secado lo mas preciso posible en una estufa a 60 °C de un gran cantidad de muestra para así partir de material sin humedad (0 %). Este secado se realizará en el laboratorio número 2, planta primera del departamento de producción agraria, y servirá para una mayor precisión a la hora de determinar el porcentaje de humedad de las muestras sobre las que se realizan los ensayos.

2º objetivo: Aprovechamiento energético.

Se estudiará la posibilidad de provechar los residuos producidos en un trujal como biomasa, realizando un estudio dentro del mercado de calderas aplicables al alperujo sobre distintas marcas y características, teniendo en cuenta ventajas e inconvenientes de distintos posibles diseños.

3^{er} objetivo: Estudio energético en una vivienda

Se realizará un estudio energético para la implantación de una caldera de biomasa en una casa que cumpla las necesidades energéticas requeridas por la misma, teniendo en cuenta calefacción y el agua caliente sanitaria (ACS). Se hará una valoración del espacio requerido por la caldera, además del volumen que ocupará la biomasa necesaria para calentar la casa durante todo el año. Se realizará una comparativa con distintos tipos de biomasa.

2. Antecedentes

La biomasa ha sido el primer combustible empleado por el ser humano y el principal hasta la revolución industrial. Está presente en la historia de la humanidad desde el paleolítico, en donde nuestros ancestros ya utilizaban madera para la realización de una hoguera y así tener la capacidad, tanto de calentarse, como la posibilidad de cocinar alimentos para su ingesta y alimentación.

A lo largo de la historia se ha ido utilizando la biomasa para distintos fines, pero siempre con objeto de obtener una generación de calor la cual se pudiera utilizar como, por ejemplo, en una fragua donde se necesite una elevada temperatura para el moldeo de metales, aunque los fines mas utilizados para la biomasa a lo largo de la historia son la generación de calor para la cocción de alimentos y la de mantener un bienestar térmico de los seres humanos.

Las nuevas necesidades que fueron surgiendo a lo largo de la historia, particularmente a mediados del siglo XVIII, que requerían mayor cantidad de energía en espacios cada vez mas reducidos, produjeron el declive de la biomasa para dar paso a combustibles fósiles, principalmente el carbón. Desde ese momento se empezaron a utilizar otras fuentes energéticas con un mayor poder calorífico, y

el uso de la biomasa fue bajando hasta mínimos históricos que coincidieron con el uso masivo de los derivados del petróleo y su bajo coste.

A pesar de que los derivados del petróleo fueron ganando terreno a la biomasa, su uso sigue jugando un papel destacado en aplicaciones donde se necesite una fuente de energía en diferentes aplicaciones industriales y domésticas, donde cabe destacar que el carácter renovable y no contaminante que tiene hacen de la biomasa una clara opción de futuro. La biomasa deberá sustituir en parte la función que realizan los combustibles fósiles de proveer energía a viviendas e industria.

3. Proceso obtención de aceite

En este apartado se incluyen las variedades mas importantes de olivos presentes en el territorio español, así como sus características principales. También trata acerca del proceso de elaboración de aceite en el trujal Mendía de Arróniz mediante olivas de variedad Arróniz, variedad que hay en la zona del trujal.

3.1 Variedades olivos en España

La materia prima de donde se extrae el aceite es la oliva. Existen diferentes variedades dentro del territorio Español dependiendo de su geografía:

- Arbequina: La zona de producción de esta variedad es Cataluña y Aragón. En Navarra también se produce esta variedad, aunque de forma minoritaria. Produce un aceite afrutado con toques de manzana y almendra. Sabor dulzón.
- Arróniz: Variedad autóctona adaptada al particular clima de la zona media de Navarra. Se distingue por el matiz propio y original de su aceite.
- Cornicabra: Se produce en Toledo. Aceite con sabor a frutas maduras, verde, aromático, fresco y ligeramente amargo.
- Hojiblanca: Se produce en Málaga, Sevilla y Córdoba. Produce un aceite afrutado de manzana y plátano. Aceite aromático y dulce.
- Manzanilla sevillana: Variedad producida principalmente en la provincia de Sevilla.

- **Picudo:** Aceite afrutado con regusto de almendra, sabor fresco, con toque a manzana y dulce fragancia. La zona de producción habitual de esta variedad es Córdoba.

España es el país que mayor producción de olivas y mayor superficie ocupada por olivos tiene a nivel mundial. En la siguiente imagen se puede apreciar la distribución de los olivares en la península ibérica:



Imagen 1: Distribución olivares en España. Fuente: Wikipedia

3.2 Proceso elaboración aceite

El aceite de oliva es un aceite vegetal de uso actualmente culinario, aunque antiguamente también se utilizaba para dar luz con lámparas de aceite. Se extrae del fruto del olivo, denominado oliva o aceituna, de donde casi la tercera parte de la pulpa de la aceituna es aceite, y por esta razón, desde la antigüedad el aceite se extraía con facilidad con la presión ejercida por un molino. Otros usos del aceite además del culinario y para alumbrar son sus aplicaciones en campos como la medicina, el religioso, y sus usos en cosméticos.



Imagen 2: Lámpara de aceite. Fuente: Google

A continuación se detalla el proceso realizado en el trujal Mendía de Arróniz para la extracción de aceite de olivas, variedad Arróniz. Este proceso se puede modificar y sufrir distintas variaciones dependiendo del trujal, y la maquinaria disponible en el mismo. Las imágenes sin fuente han sido sacadas en una visita realizada al trujal. Los pasos son los siguientes:



Imagen 3: Salida aceite de oliva

3.2.1 Recolección de la aceituna

Las aceitunas se recolectan de los olivos a finales de otoño y comienzos del invierno, aproximadamente entre Noviembre y Diciembre, en su punto óptimo de maduración, donde las aceitunas tienen su máximo nivel de ácidos grasos. La época de recolección influye en la composición de los aceites y los caracteres sensoriales de los mismos, así como en el color del aceite, en donde al principio predominan los aceites de color verde, de diversas tonalidad en función de la variedad de aceituna de la cual se extraiga el aceite, y transformándose en amarillo-oro al avanzar la época de recolección de la aceituna.



Imagen 4: Aceite de oliva

La recolección de la aceituna es una labor de máxima importancia, puesto que marca la posterior calidad del aceite producido. En zonas muy frías se recomienda coger el fruto antes de que aparezcan heladas debido a la época del año y a la localización, que puedan provocar pérdidas de atributos en el aceite obtenido.

Si se produce un retraso en la época de recolección de la aceituna respecto de su época apropiada, aparece la caída natural del fruto al suelo con ayuda del viento, lo que produce un deterioro notable en la calidad del posterior aceite extraído, lo que condiciona una separación de los frutos extraídos directamente del árbol, a los recogidos del suelo debido a que pequeñas cantidades de frutos recogidos del suelo pueden llegar a condicionar de manera notoria los recogidos del árbol.

Para la recolección del fruto en el árbol, se tiene muy en cuenta el método utilizado, puesto que puede ocasionar graves desperfectos en la oliva, y por ende, en el aceite obtenido, ya que las roturas producidas en la oliva pueden ocasionar la salida de grasas en el lavado. Existen varios métodos de recolección:

- a) A mano: Este método es el ideal para el correcto estado de la aceituna y con el que menos desperfectos se producen.



Imagen 8: Recogida de oliva a mano. Fuente: Google

- b) Vareo: Consiste en azotar el árbol con una vara de longitud considerable para así arrojar las aceitunas a una malla debidamente colocada en el suelo mediante golpes de la vara a los frutos. Este método es muy agresivo y condiciona unos graves desperfectos en las olivas y en el propio árbol, puesto que se produce la rotura de ramas y pequeños brotes que son los que van a dar aceitunas la siguiente campaña.



Imagen 9: Recogida de oliva a vareo. Fuente: Google

- c) Mecánico: El sistema mecánico por vibración, es una pieza impulsada generalmente por un tractor agrícola que azota a las ramas del árbol para así desprender sus frutos y recogerlos con una malla en el suelo. La vibración producida por el sistema es el adecuado para no producir daños ni en el fruto, ni en las ramas del árbol. Este sistema es el más utilizado con diferencia debido a que reduce los costos debidos a recolección y disminuyen los daños producidos en el olivo debido al vareo.



Imagen 10: Recogida de oliva mecánica. Fuente: Google

Para que el proceso de recolección tenga menores costos, se suele utilizar la técnica de preparar los pies, que consiste en el alisamiento de los terrenos circundantes al olivo suprimiendo las malas hierbas con herbicidas, o manualmente, puesto que los herbicidas producen consecuencias directas en el aceite producido posteriormente. Esta técnica mejora considerablemente la recogida de los frutos.

3.2.2 Recogida de olivas

Una vez se ha realizado el proceso de recolección de los frutos del olivo, se transportan en un remolque hasta el trujal para realizar un pesaje de la cantidad que se ha llevado, así como de la calidad de la oliva, midiendo mediante un analizador el rendimiento de la grasa de las olivas de cada proveedor.

Posteriormente a analizar las olivas se pueden llevar directamente al proceso a realizar en el trujal si no hay mucha demanda en ese momento, o si el proceso no da abasto para seguir añadiendo materia prima, se puede amontonar aparte para su posterior procesado. En las siguientes imágenes podemos apreciar como se amontonan las olivas en el trujal Mendía para posteriormente producir aceite:



Imagen 11: Recogida de olivas

Puede apreciarse como disponen de una estructura que forme un cobertizo con el cual resguardar la oliva de las inclemencias del tiempo.



Imagen 12: Almacenamiento de olivas

Una vez llegado el momento de realizar el procesado de las olivas en el trujal, previamente se realiza una criba para la eliminación de residuos como hojas, tallos, tierra y piedras. La criba consiste en unas rejillas de un tamaño determinado en donde se arrojan las olivas provenientes del remolque. La criba se puede apreciar en la siguiente imagen:



Imagen 13: Criba

Una vez se ha realizado la descarga del remolque y se han arrojado las olivas, un conjunto de cintas transportadores se encargan de transportar las mismas hasta el siguiente proceso. A continuación se muestran distintas partes del conjunto de cintas transportadoras:



Imagen 14: Cinta transportadora 1



Imagen 15: Cinta transportadora 2

Previamente a que las olivas pasen al siguiente proceso, se llevan a una tolva para controlar el flujo de trabajo del proceso.



Imagen 16: Tolva

3.2.3 Molienda

Mediante el uso de las cintas transportadoras, se envían las olivas hacia el primer proceso al que se les someten, y su objetivo no es mas que trocear las olivas para poder obtener de las mismas la máxima cantidad de aceite posible. Antiguamente este proceso se realizaba con morteros o molinos de rulo, donde se trituraban los frutos para romper los tejidos en donde se encuentra el aceite.

Actualmente este proceso se realiza con molinos de martillo, generalmente de eje horizontal, y en donde se van introduciendo las olivas de forma automatizada y controlada por medio de la tolva. Los frutos, a medida que se introducen la máquina, reciben el impacto de los martillos metálicos que giran a gran velocidad, y machacan literalmente la aceituna, rompiéndola internamente y favoreciendo la obtención de aceite.

En la siguiente imagen se puede apreciar el molino de martillo presente en el trujal Mendía de Arróniz, siendo estas dos máquinas las que utilizan en dicho trujal durante las campañas de aceituna durante el proceso de obtención de aceite.



Imagen 17: Molinos de martillo

Una vez se ha realizado la molienda, se genera una pasta densa que es bombeada hasta el siguiente proceso.

3.2.4 Batido

El siguiente paso dentro de todo el proceso de obtención de aceite a partir de olivas una vez se ha obtenido la pasta por molienda, es el batido. Este proceso se realiza con objeto de sacar una mayor cantidad de aceite creando gotas de mayor tamaño por agregación.

Este proceso se realiza mediante unas máquinas llamadas batidoras. Dichos artilugios constan de unas palas que remueven la pasta de manera lenta pero continua. Las batidoras constan de camisas por las que hacen circular agua caliente que a su vez calientan la masa de pasta y facilita la extracción de aceite de la misma. La temperatura óptima de trabajo en la batidora es: $25 - 30^{\circ}\text{C}$, ya que es temperatura suficiente para facilitar la extracción de aceite, disminuir su viscosidad y favorecer la agregación de aceite. Temperaturas mayores a la indicada pueden ser perjudiciales.

La duración del batido debe de ser suficiente para conseguir el mayor porcentaje de aceite suelto, pero sin ser excesivamente largo, puesto que podría perder distintos componentes esenciales para su acabado final.

En el trujal Mendía de Arróniz disponen de la siguiente batidora para la extracción de aceite:



Imagen 18: Batidora

Después de la molienda, se bombea la pasta desde los molinos de martillo hasta la batidora.

3.2.5 Extracción

Esta fase es necesaria en todos los procesos de obtención de aceite, puesto que es la encargada en separar el aceite contenido en la masa que sale de la batidora, del resto de componentes de la aceituna presentes en la pasta, como hueso, piel y agua.

En la actualidad, hay dos sistemas para lograr la extracción

- a) Extracción por presión: Es el sistema tradicional utilizado durante generaciones. El proceso es el siguiente: La pasta obtenida del batido se prensa envolviéndola en capazos de esparto entretejido, que actúa como un tamiz filtrando los líquidos y reteniendo los sólidos. El líquido obtenido se recoge y se decanta para que el aceite elimine las sustancias que tenga en suspensión. Este sistema está en desuso, siendo muy pocas las almazaras que lo conservan.
- b) Extracción por centrifugación: Este sistema es el más utilizado actualmente en trujales a nivel industrial debido a que resulta más eficiente y económico. En este proceso la pasta ya batida se introduce en unos tambores giratorios horizontales que giran a distinta velocidad para la extracción de distintos componentes. Gracias a las diferencias de densidad, los componentes presentes en la pasta son extraídos por niveles, quedando el aceite en el interior de la centrifugadora y extrayéndose posteriormente.

Este proceso se denomina continuo porque al contrario que la extracción por presión, en donde la prensa tiene que parar cada cierto tiempo para descargarse y cargarse de nuevo, en la extracción por centrifugación la máquina no para en ningún momento de ser alimentada por un extremo por la pasta proveniente de la batidora, y por el lado contrario no para de salir aceite y subproductos como piel y hueso.

Dentro de la extracción por centrifugado existen dos variantes, el sistema de tres fases en donde a la mezcla se le añade agua y posteriormente en la centrifugadora se obtiene aceite, residuos (orujo) y alpechín (agua que contenía la aceituna más la añadida), y el sistema que se utiliza en el trujal Mendía de Arróniz, siendo este el sistema de dos fases, en donde la mezcla proveniente de la batidora se centrifuga directamente y los residuos provenientes de la pasta salen juntos, por lo que por un lado obtendremos el denominado aceite, y por otro, el alperujo que es el orujo (restos) con el alpechín (agua) ambos mezclados. Cabe destacar que en los restos del alperujo hay restos de huesillo que no se han eliminado por centrifugación.

Este residuo obtenido del sistema de dos fases denominado alperujo es motivo de estudio en este proyecto, realizando un análisis de su poder calorífico superior dependiendo del porcentaje de humedad presente en la muestra.

En la imagen siguiente se aprecia una de las dos centrifugadoras presentes en el trujal Mendía de Arróniz, con las cuales se realiza todo el proceso durante las diferentes campañas cada año:



Imagen 19: Perfil centrifugadora

En esta otra imagen se puede apreciar como sale el aceite por el interior de la centrifugadora por medio del tubo azul:

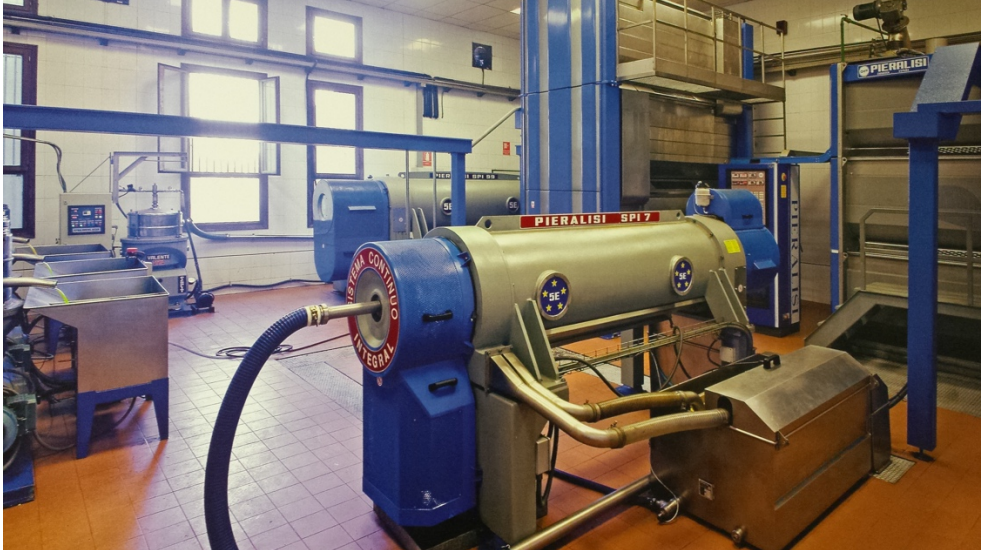


Imagen 20: Centrifugadora

El aceite sale de la centrifugadora por el tubo azul, y llega hasta la máquina que esta a sus pies, donde podemos apreciar en la siguiente imagen como sale totalmente líquido y ya no es una pasta como lo era antes.



Imagen 21: Salida centrifugadora

El aceite de oliva obtenido en esta primera centrifugación es el de máxima calidad posible. Los residuos obtenidos en la primera centrifugación aún son ricos en aceite por lo que se puede volver a repetir el proceso hasta tres veces para obtener el denominado aceite de orujo, mediante la adicción de distintos componentes químicos, por lo que la calidad del aceite empeora considerablemente.

3.2.6 Decantación

Cuando ya ha finalizado todo el proceso, el aceite de oliva se almacena en una bodega donde permanecerá unos días hasta su decantación. En la siguiente imagen se puede apreciar la bodega con los distintos depósitos presentes en la misma:



Imagen 22: Depósitos decantación

3.2.7 Envasado

Cuando los organismos del trujal decidan, y el aceite se encuentre en óptimas condiciones, se procede al último paso para el consumo del aceite: el envasado. El trujal Mendía de Arróniz dispone de una sala con una línea de envasado y etiquetado justo debajo de la bodega donde se almacena y decanta el aceite, así como de un almacén donde se guardan las cajas para su posterior distribución a los proveedores de este aceite.



Imagen 23: Envasado aceite de oliva. Fuente: Google

3.3 Análisis de compuestos orgánicos e inorgánicos

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos de componentes orgánicos e inorgánicos presentes en las muestras de residuos del trujal Mendía de Arróniz. Dichos resultados se han obtenido realizando pruebas a tres muestras de residuos, todo ello realizado en el Departamento de Producción Agraria de la Universidad Pública de Navarra. Las muestras fueron tamizadas a 2 mm y tenían un porcentaje de humedad de 71,43 %.

Los resultados obtenidos de las muestras son los siguientes:

N (g/100g)	C (g/100g)	C orgánico (g/100g)	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Be (mg/kg)
1,35	50,88	49,73	120,14	<0,1	<0,5

Bi (mg/kg)	B (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)
<0,5	24,47	0,16	<0,1	<0,5	1,63

Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	k (g/100g)	K2O	Li (mg/kg)	Mg (g/100g)
14,76	73,97	2,25	5,42	<0,1	0,06

Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Na (g/100g)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (g/100g)
11,35	0,11	0,01	0,97	0,56	0,13

Sb (mg/kg)	Se (mg/kg)	S (g/100g)	Sr (mg/kg)	Ti (mg/kg)	V (mg/kg)
<0,5	0,28	0,11	14,46	1,58	<0,5

4. Combustión

En este apartado se van a indicar los conceptos acerca de la combustión utilizados y necesarios para la realización del proyecto. Cabe destacar que la realización ha sido experimental mediante el uso de un calorímetro, por lo que no se ha realizado ningún cálculo teórico para la obtención de los valores.

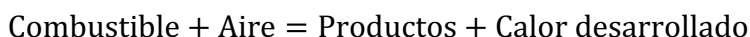
4.1 Fundamentos de la combustión

La combustión es la reacción de oxidación de las sustancias combustibles. Es una reacción rápida de oxidación-reducción la cual cede al entorno una cantidad de calor generado. Para que cualquier proceso de combustión se lleve a cabo, es necesaria la presencia de tres factores: combustible, comburente y energía de activación, los cuales se pueden definir de la siguiente manera:

- Combustible: Sustancia que se quema u oxida y actúa como reductor. Puede ser sólido líquido o gaseoso. En el presente proyecto se tratara como combustible el alperujo.
- Comburente: Es el oxidante que favorece o provoca la combustión. Es oxígeno (O_2) puro, como es el caso de las reacciones presentes en el calorímetro, en donde se cuenta con una bombona de oxígeno puro, o aire, en donde el oxígeno está presente en un porcentaje del mismo.
- Energía de activación: Es el elemento que desencadena el proceso de combustión. En el calorímetro la energía de activación se obtiene mediante una chispa proporcionada por el mismo calorímetro de forma automatizada en el momento preciso.

4.2 Poder calorífico

Durante un proceso de combustión en donde se dan lugar reacciones de oxidación, se obtiene debido a estas reacciones un calor generado. La reacción que se produce de forma generalizada se puede expresar mediante la siguiente relación:



Una combustión puede ser completa o incompleta dependiendo de si todo el combustible se oxida con el aire en la proporción necesaria, de modo que no quede ningún resto de combustible sin quemar. A la proporción de combustible y aire necesaria para que no queden restos sin combustionar se le denomina mezcla estequiométrica, y en este caso la combustión será completa. Si en la combustión no se tiene la proporción estequiométrica de combustible-aire y/o se tiene un exceso de combustible, la combustión será incompleta, y aparecen inquemados, que son productos de la combustión que no se han oxidado totalmente y aún pueden generar calor.

En general, el calor desarrollado en la combustión se atribuye por regla general al combustible utilizado en la reacción, lo que permite realizar los cálculos térmicos con el poder calorífico del combustible utilizado, y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{Poder calorífico del combustible (P. C.)} = \frac{\text{Calor desarrollado (J)}}{\text{Combustible utilizado (Kg)}}$$

Aunque el poder calorífico de un combustible tiene siempre el mismo valor, en la práctica se pueden definir dos variaciones: el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI). Esta variación surgió debido a que en el correcto funcionamiento de las calderas para calefacción y agua corriente sanitaria, es necesario que los humos procedentes de la combustión, mayoritariamente CO_2 y vapor de agua (H_2O), deben salir a una temperatura por encima de los 100 °C para asegurar el tiro térmico necesario, pero esta necesidad también es un inconveniente puesto que al ser esa temperatura tan elevada, el vapor de agua que se va por la salida de gases no se condensa, lo que produce una pérdida energética con el calor de cambio de estado, que para el agua equivale a 2261 kJ/kg .

Debido a este problema, se indica como poder calorífico superior el calor que verdaderamente se produce en una reacción de oxidación-reducción (combustión), y se asigna como poder calorífico inferior al calor verdaderamente aprovechable para el uso que tengamos como objeto, con lo que se definen estos dos conceptos:

- Poder calorífico superior (PCS): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase. Es el poder calorífico que se obtiene en la bomba calorimétrica.
- Poder calorífico inferior (PCI): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el poder calorífico que interesa en usos industriales.

4.3 Tipos de combustible

Un combustible se define como una sustancia susceptible de ser quemada o que puede arder. Con el nombre de combustibles se designan las sustancias utilizadas para obtener calor, y se pueden clasificar en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

La propiedad fundamental que debe de tener un combustible es el poder calorífico, es decir, la cantidad de calor que genera dicha sustancia por unidad de medida del combustible, si es sólido, kg, y si es líquido o gaseoso, m³.

Los elementos químicos más importantes en los combustibles de mayor uso en el mercado actual son: Carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último elemento el que mas problemas aporta de contaminación y corrosión. Para la realización de la obtención del poder calorífico superior mediante un calorímetro, en el proceso final la máquina pide que introduzcas un valor del azufre residual que ha quedado en la cubeta, pero en este proyecto no se ha tenido en cuenta puesto que los valores de azufre del alperujo son muy bajos, por lo que se han despreciado.

En la siguiente figura podemos observar la clasificación de los combustibles normalmente utilizados en la industria atendiendo a su naturaleza.



Figura 1: Clasificación combustibles industriales

El combustible que ha sido motivo de estudio en este proyecto ha sido el sólido natural, concretamente los residuos agrícolas provenientes de residuos de olivos.

5. Ensayos poder calorífico superior

En este apartado se aborda todo lo relacionado con los ensayos realizados en el calorímetro, así como materiales utilizados para la obtención de los resultados finales, y procedimientos usados en la preparación de muestras.

5.1. Material utilizado y lugar para la realización del proyecto

Los ensayos se han realizado en el laboratorio de Termodinámica, situado en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales de la Universidad Pública de Navarra.

El equipo en el que se han realizado los ensayos es un calorímetro marca y modelo PARR 1261 que consta de las siguientes partes:

➤ Calorímetro

Es la parte principal de todo el sistema que realiza el cálculo del poder calorífico termómetro de gran precisión, un agitador de agua, y un panel de control por donde se ajusta el aparato y se introducen los datos necesarios.



Imagen 24: Calorímetro

➤ Calentador

Parte del equipo encargada de proporcionar agua destilada a la camisa del calorímetro y mantener el agua de su interior a una temperatura constante de 30°C para poder realizar el ensayo. Internamente regula la temperatura del agua destilada con unas electroválvulas que abren el paso del agua fría del refrigerador.

Se bombea agua hacia el calorímetro y hacia el refrigerador, y a la vez recibe agua de estos dos con una realimentación cerrada.

El calentador dispone de un recipiente de cristal externo y conectado a él, el cual tiene una capacidad exacta de 2000 ml, cantidad exacta y necesaria sobre el cual el calorímetro realiza sus cálculos



Imagen 25: Calentador

➤ Refrigerador

Es el encargado de enfriar el agua mediante un sistema cerrado de agua del calentador, para así mantener una temperatura media aproximada de 30 °C.



Imagen 26: Refrigerador

➤ Cubeta

Recipiente de acero inoxidable el cual sirve de soporte para los 2000 ml a una temperatura de 30 °C y para la bomba sumergida dentro del agua. Tiene unas

muecas en la parte baja para que encaje perfectamente sobre el hueco del calorímetro y no se produzca ningún derrame de agua.



Imagen 27: Cubeta

➤ Bomba calorimétrica

Recipiente de acero inoxidable de grosor considerable diseñado para aguantar una gran presión de oxígeno dentro de la misma. En el interior de esta bomba se va a producir la combustión del elemento que introduzcamos para su análisis energético.



Imagen 28: Bomba calorimétrica

➤ Bombona de oxígeno

Necesaria para introducir oxígeno a una presión determinada por el calorímetro, para que cuando se produzca la combustión, se queme absolutamente toda la muestra. Los gases presentes en la bombona son de gran pureza de oxígeno, entorno al 99,99 %.



Imagen 29: Bombona de oxígeno

➤ Alambre

El alambre sirve para generar la chispa necesaria para que se produzca la combustión dentro de la bomba. Está conectado a dos cables del calorímetro, y este manda corriente cuando se ha estabilizado la temperatura y quiere que se produzca la combustión. El aparato trae consigo el alambre enrollado en un cartón con la medida exacta con la cual se debe colocar en la bomba calorimétrica. Esto se debe a que el calorímetro tiene en cuenta la energía que se absorbe en fundir dicho metal con esa determinada longitud.

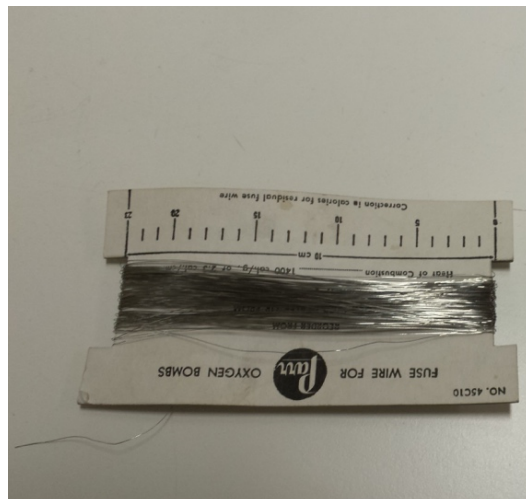


Imagen 30: Alambre

➤ Cápsula de combustible

La cápsula de combustible es el recipiente donde se introduce la muestra a analizar en el calorímetro, y se deposita dentro de la bomba en una holgura hecha para ella.



Imagen 31: Cápsula de combustible

➤ Prensa

Sirve para prensar las muestras y dejarlas en forma de cápsula, para facilitar la medida de su masa en la báscula de precisión, y que ninguna parte de la muestra se nos escape, lo que produciría una masa errónea y su posterior error en el resultado del calorímetro.



Imagen 32: Prensa

➤ Báscula de precisión

Determina la masa de la muestra del ensayo con una precisión de decimales. Los valores que marca indica una medida hasta el miligramo (10^{-4} gr).

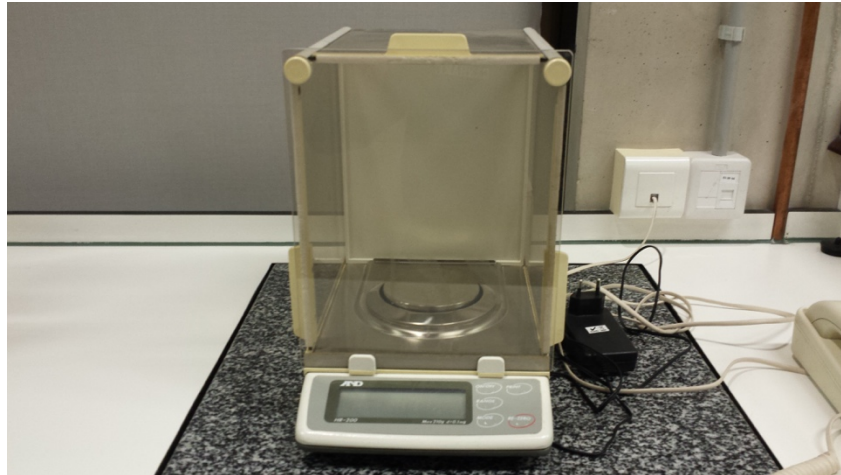


Imagen 33: Báscula de precisión

➤ Estufa

La estufa se usó en la determinación del porcentaje de humedad de cada ensayo.

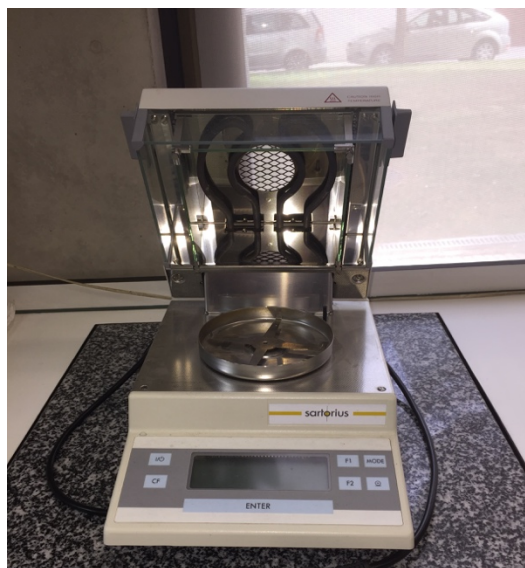


Imagen 34: Estufa

➤ Impresora

La impresora es una parte del equipo que permite sacar los resultados obtenidos en papel para así poder visualizar los distintos datos de entrada y salida en un mismo papel. Se encuentra conectada a la unidad central del calorímetro que es la parte encargada de almacenar datos.



Imagen 35: Báscula de precisión

5.2. Procedimiento de los ensayos

Para la determinación del poder calorífico superior se realizaron 3 repeticiones de ensayos con muestras de alperujo procedentes de dos temporadas de recogida de oliva distintas. Los dos primeros ensayos se realizaron con muestras procedentes de la campaña 2014/2015, y el último ensayo se realizó con muestras de la campaña 2015/2016.

El primer paso a realizar es el secado de la muestra en una estufa, para así partir de muestras lo mas aproximadas posibles a 0 % de humedad. Las muestras, que tenían entorno a un 55 % de humedad cuando llegaron a la Universidad Pública de Navarra, se secaban en una estufa de convección durante aproximadamente 3 días, comprobando periódicamente el peso de las muestras, hasta que en las últimas medidas apenas se apreciaban variaciones en su peso, lo que indicaba que el agua presente en las muestras ya se había eliminado prácticamente en su totalidad. El proceso se realizaba a una temperatura de 60 °C para prevenir que las muestras biológicas dentro de la estufa ardieran y provoquen un incendio, puesto que siempre existe el riesgo, y mas si en dichas muestras hay, aunque poca, alguna cantidad de aceite que no se ha extraído en el proceso de elaboración del aceite.

El secado en estufa de convección forzada se ha realizado atendiendo a la normas UNE-EN 14774-1, UNE-EN 14774-2 y UNE-EN 14774-3 sobre la *determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa*, donde nos marca la temperatura a la cual tenemos que realizar el proceso de secado para prevenir un posible incendio, y la evaporación de componentes de la muestra, lo que puede afectar al rendimiento en el calorímetro.

Este paso se realizó en el laboratorio número 12 del departamento de producción agraria, edificio de los olivos, en la estufa de convección de la que dispone el departamento y de modelo parecido a la siguiente imagen:



Imagen 38: Estufa de convección forzada. Fuente: Google

Una vez las muestras se han estabilizado, dato que comprobamos debido a que el peso de la muestra no varía cuando se realizan los pesajes, lo que indica que el agua presente en las muestras de alperujo se ha evaporado en la estufa, las muestras se trasladan a un recipiente de cristal totalmente aislado del ambiente del laboratorio en donde se coloca un material de color azulado denominado silicagel, el cual tiene la función de absorber la humedad del ambiente del recipiente de cristal para que las muestras no lo absorban y ganen un porcentaje de humedad que lleve a tener un error mayor en los ensayos con el calorímetro. Este elemento es muy importante puesto que el alperujo es una sustancia muy hidrófila, por lo que se trabaja con mucho cuidado de minimizar el error de humedad.

A pesar de todos los cuidados tenidos en cuenta, siempre las muestras pasan por el ambiente en el traslado de laboratorio donde se encuentra la estufa en el departamento de producción agraria, hasta el laboratorio de termodinámica que es el lugar donde se encuentra el calorímetro. También en el proceso de prensado y

preparación de la muestra es un momento idóneo para que la muestra coja humedad del ambiente.

Para poder apreciar el porcentaje de humedad que las muestras cogen del ambiente, se han realizado ensayos mediante la estufa a disposición del proyecto en donde se ha podido apreciar que las muestras cogen aproximadamente un 2 % de humedad.

Una vez se dispone de muestras prácticamente sin humedad, se añade la cantidad de agua necesaria para realizar un ensayo con el porcentaje de humedad elegido de forma que este porcentaje de agua que se le añade, tiene que ser sobre el peso de la muestra total, ya con el agua, por lo que la relación para obtener la cantidad de agua necesaria será de la siguiente manera:

$$\frac{x}{x + \text{masa muestra seca}} \times 100 = \% \text{ humedad con la cual se realiza el ensayo}$$

en donde “x” será la masa de agua que hay que añadirle a la muestra de alperujo seca para lograr el porcentaje de humedad que se quiere.

El agua que se añade a la muestra de alperujo seca es agua destilada, y la cantidad que hay que añadir se realiza mediante una pipeta. Suponiendo que el agua destilada tiene una densidad $\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$, la masa de agua destilada que se añade equivale a su volumen. Posteriormente, se pone especial atención en que toda la muestra quede con una humedad homogénea, por lo que para conseguirlo, se vierte todo en un recipiente de cristal, y mediante una varilla se mezcla el alperujo seco con la cantidad de agua que añadamos en cada caso.

El siguiente paso una vez tengamos la muestra con la humedad con la que se vaya a realizar el ensayo es realizar los preparativos pertinentes para su desarrollo. Para empezar, se prensa entorno a 1 gr de muestra aproximadamente debido a motivos de seguridad, puesto que si ponemos mucha cantidad de algo inflamable, puede haber complicaciones y que el calorímetro pueda resultar dañado. Para continuar, se procede a montar la bomba, con la muestra en la cápsula de combustible y la misma sobre el soporte metálico tal y como se muestra en la siguiente imagen. El hilo de aluminio debe de ir fijado a cada patilla, y formar una V sin que toque la cápsula, puesto que si lo hiciera se podría producir un cortocircuito y no llevarse a cabo el ensayo. La bomba calorimétrica se coloca de acuerdo a la siguiente imagen:



Imagen 39: Colocación bomba calorífica

Cabe destacar que las imágenes que no incluyan fuente han sido tomadas por uno mismo, en este caso en el laboratorio de Termotecnica de la Universidad Pública de Navarra.

Una vez este la bomba calorimétrica con la muestra dentro y todas las conexiones pertinentes del alambre realizadas, se cierra dicha bomba y se procede a llenarla con oxígeno puro procedente de la bombona disponible en el laboratorio abriendo la válvula de la bombona y presionando la tecla O_2fill del calorímetro. La propia máquina detectará cuando la presión de oxígeno dentro de la bomba calorimétrica es la suficiente para llevar a cabo todo el proceso, y ella misma corta el flujo sin necesidad de realizar nada manualmente. Esta parte se realizará conectando el terminal del oxígeno que sale del propio calorímetro a la bomba calorimétrica en la siguiente posición:



Imagen 40: Terminal oxígeno

Para continuar con la prueba, se introduce la bomba en la cubeta con dos litros de agua a 30 °C en su interior, y posteriormente se introduce la cubeta en su habitáculo correspondiente del calorímetro para proceder a conectar los cables que alimentan la corriente y así producir la chispa para la combustión, tal y como aparece en la siguiente imagen:

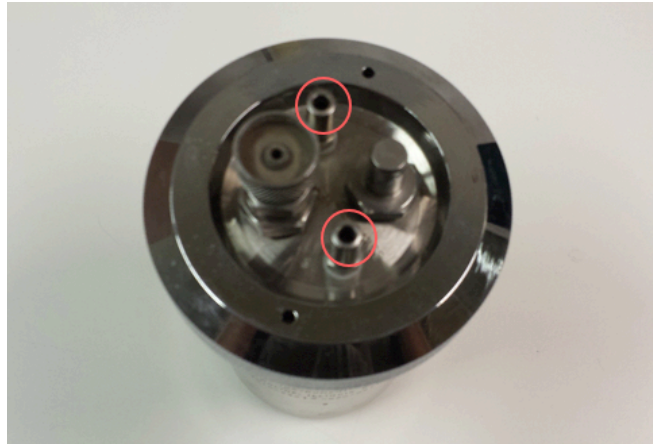


Imagen 41: Conexiones corriente

Cuando ya este todo preparado para realizar el ensayo, se introduce el dato de la masa de la muestra mediante el panel de control del calorímetro, y se da comienzo al ensayo.

El ensayo consta de dos partes independientes y necesarias para llevar a cabo el proceso de manera correcta. Las dos partes en las que se divide el ensayo son las siguientes:

- a) Pre-combustión: Este proceso se desarrolla el primero de los dos. Durante el mismo, la máquina mide la temperatura del agua de la cubeta que cubre a la bomba, y espera a que se estabilice en un valor estable. Una vez que esa temperatura no tiene grandes variaciones, el calorímetro hace circular una intensidad de corriente por el alambre de aluminio, para así producir la combustión de la muestra dentro de la bomba. El tiempo que tarda el agua de la cubeta en estabilizarse ronda los 6-7 minutos con el agua del calorímetro entorno a 30 °C, por lo que es importante tener todas las máquinas funcionando entorno a 45 minutos antes de realizar ningún ensayo para que las temperaturas de la camisa del calorímetro y del calentador se estabilicen y el ensayo se realice de la manera más óptima.

- b) En segundo lugar y último, la post-combustión. Una vez producida la ignición y la muestra en este caso de alperujo haya combustionado completamente, el calorímetro espera que la temperatura de la cubeta se vuelva a estabilizar en un nuevo valor de temperatura. Este segundo valor, es mas elevado que el primero, puesto que la combustión ha generado calor y ha calentado el agua circundante a la bomba y que se encuentra dentro de la cubeta. Con esta variación de temperaturas, y en función de la masa de la muestra, el calorímetro da un valor del poder calorífico superior de la muestra que hayamos analizado.

Para realizar una buena aproximación a una curva “poder calorífico superior - % humedad”, se realizaran ensayos dando valores de humedad de 5 en 5 %, y con cada muestra, se realizarán 5 repeticiones para que el resultado obtenido sea lo mas exacto posible.

Una vez realizados los 5 ensayos de cada porcentaje de humedad, la muestra sobrante se introduce en la estufa para comprobar el porcentaje de humedad real de la muestra.

5.3 Datos obtenidos en los ensayos

Se presentan a continuación los datos obtenidos en el calorímetro con muestras de alperujo de distinta humedad. Los datos se han obtenido con muestras de alperujo de distintas campañas de recogida de oliva en el trujal Mendía de Arróniz, concretamente de las temporadas 2014-2015 y 2015-2016.

En cada temporada, a continuación de los datos recogidos por medio de los ensayos se representan los mismos en función del porcentaje de humedad real obtenido en la estufa del laboratorio de Termodinámica.

Por último cabe destacar que los porcentajes de humedad de los primeros ensayos de las muestras de la campaña 2014-2015 están peor distribuidos debido a un error de concepto a la hora de la adicción del agua a las muestras, aunque los resultados obtenidos en estos ensayos son perfectamente válidos para el trabajo.

5.3.1 Primer ensayo campaña 2014-2015

Este primer ensayo se realizó sobre las muestras de la temporada 2014/2015 del trujal Mendía de Arróniz.

El secado de esta muestra se realizó en la propia estufa del laboratorio de termodinámica, debido a que aún no se tenía acceso a la estufa del departamento de producción agraria.

Los resultados de este ensayo fueron:

8,17 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9810	1,0643	1,0437	0,9631	0,8757
P.C.S. (kJ/kg)	19662,04	19385,94	19550,87	19459,07	19604,26

Tabla 1: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 8,17 %

14,9 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0812	1,1171	1,1578	1,0682	1,2102
P.C.S. (kJ/kg)	18332,69	18024,09	17733,97	18314,66	18009,02

Tabla 2: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 14,9 %

19,32 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9645	1,0941	0,9903	0,9783	0,9919
P.C.S. (kJ/kg)	16960,81	16666,63	16447,51	16991,22	17154,57

Tabla 3: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 19,32 %

22,24 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9930	1,0658	0,9941	0,9390	0,9773
P.C.S. (kJ/kg)	16325,38	16584,92	16402,49	16188,44	16399,52

Tabla 4: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 22,24 %

25,39 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0212	0,9887	1,0758	1,1168	1,0455
P.C.S. (kJ/kg)	15251,81	15664,98	15774,43	15798,78	15762,93

Tabla 5: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 25,39 %

27,19 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9611	1,0995	0,9607	1,0340	1,0310
P.C.S. (kJ/kg)	15523,22	15490,00	15319,84	15199,47	15454,73

Tabla 6: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 27,19 %

35,32 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,2845	0,9502	1,0816	1,0910	1,0329
P.C.S. (kJ/kg)	14051,79	13780,97	13565,74	13650,30	13856,57

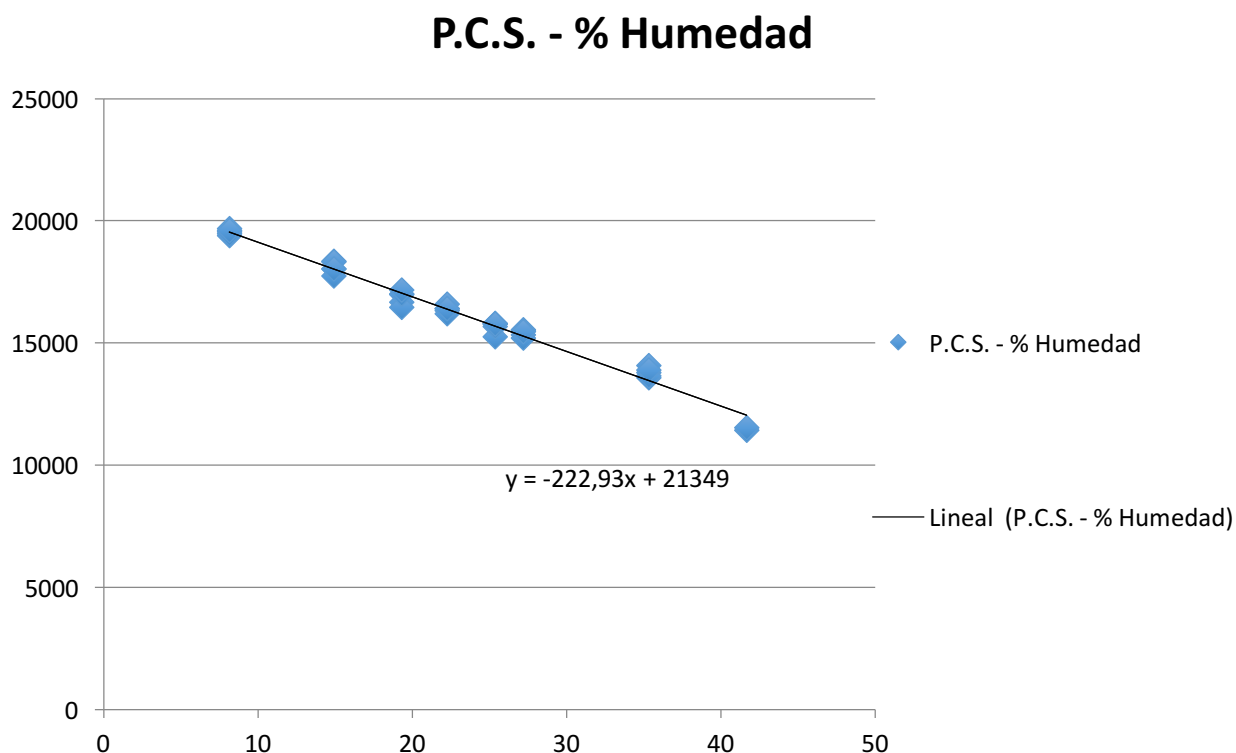
Tabla 7: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 35,32 %

41,68 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0659	1,1622	1,2823	1,1334	1,0774
P.C.S. (kJ/kg)	11412,82	11518,76	-----	-----	-----

Tabla 8: Primer ensayo campaña 2014-2015. Humedad 41,68 %

A continuación se representan los datos obtenidos en los primeros ensayos de la campaña 2014-2015:



Gráfica 1: P.C.S. primeros ensayos campaña 2014-2015

La línea de tendencia tiene la expresión $y = -222,93X + 21349$

Los resultados obtenidos en los primeros ensayos de la campaña 2014 – 2015 siguen una tendencia lineal. Los datos no presentan grandes variaciones y se ajustan en la línea de tendencia marcada anteriormente. Cabe destacar que los datos obtenidos en los ensayos con mayor porcentaje de humedad presentan una mayor dispersión que los obtenidos en ensayos con bajo porcentaje de humedad.

El valor del poder calorífico superior de las muestras de esta campaña con un porcentaje de humedad del 0 %, es decir, sin ningún contenido de agua en las mismas es: 21349 kJ/kg.

5.3.2 Segundo ensayo temporada 2014-2015

Este segundo ensayo se realizó sobre las muestras de la campaña 2014-2015.

Las muestras de este segundo ensayo fueron secadas previamente con la estufa de convección del departamento de producción agraria a una temperatura de 60 °C. Estuvieron 3 días hasta que se el peso total de la muestra no variaba, lo

que indica que las muestras de alperujo de esta campaña tenían un porcentaje de humedad lo más aproximado posible a 0%.

Los resultados son:

1,26 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0252	0,8703	1,0570	1,1690	1,0920
P.C.S. (kJ/kg)	21383,71	21515,68	21446,89	21397,35	21333,88

Tabla 9: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 1,26 %

6,02 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,942	0,753	0,896	0,878	1,162
P.C.S. (kJ/kg)	20447,42	20772,51	20687,54	20504,15	20455,37

Tabla 10: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 6,02 %

11,27 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,891	0,902	0,952	0,996	1,091
P.C.S. (kJ/kg)	19047,38	19711,66	19321,25	19539,03	19354,93

Tabla 11: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 1,26 %

13,9 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,031	1,105	1,033	0,982	1,183
P.C.S. (kJ/kg)	18041,92	18694,24	18621,94	18405,79	18266,63

Tabla 12: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 13,9 %

20,53 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,101	1,039	1,087	1,153	1,145
P.C.S. (kJ/kg)	17402,80	17038,88	16754,83	16923,44	16798,93

Tabla 13: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 20,53 %

23,84 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,8655	1,01148	1,0399	1,0075	0,9867
P.C.S. (kJ/kg)	P.C.S. (KJ/KG)	16013,79	16415,04	16227,18	16296,02

Tabla 14: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 23,84 %

29,3 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9817	0,9974	0,9675	1,0411	1,1068
P.C.S. (kJ/kg)	15258,34	15454,57	14921,23	15165,78	15128,42

Tabla 15: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 29,3 %

35,35 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0818	1,0186	0,8920	0,9158	1,1578
P.C.S. (kJ/kg)	13852,34	14152,55	13667,41	13908,91	13940,96

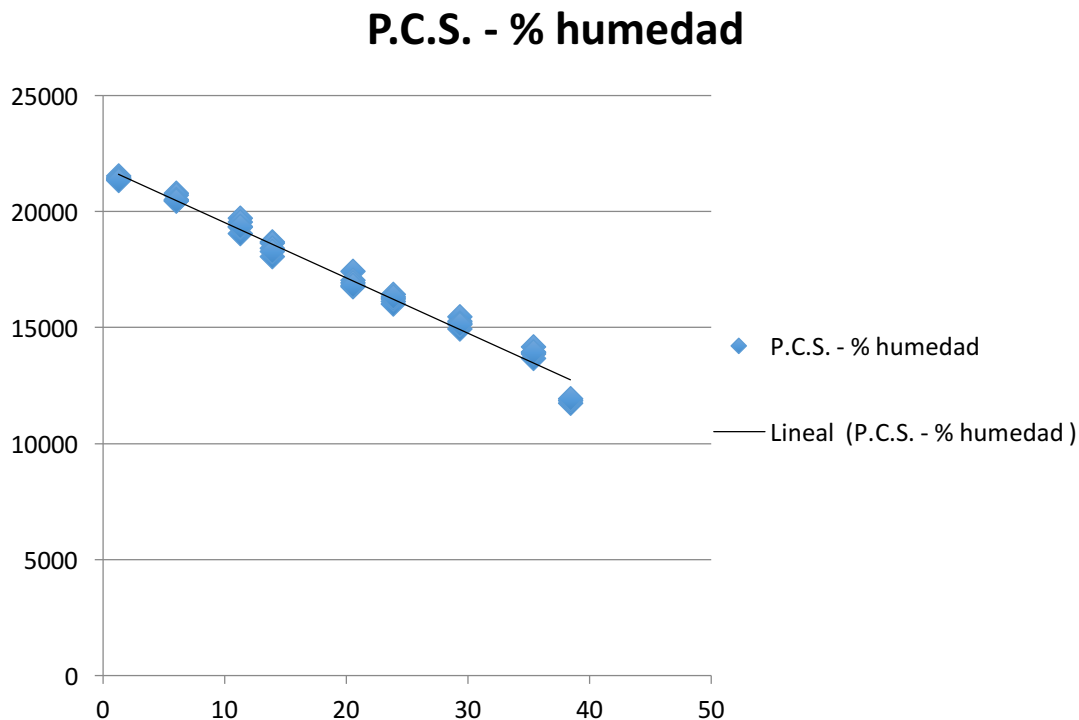
Tabla 16: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 35,35 %

38,42 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9934	1,0499	0,8227	0,9485	1,0185
P.C.S. (kJ/kg)	11722,69	11850,59	-----	-----	11916,41

Tabla 17: Segundo ensayo campaña 2014-2015. Humedad 38,42 %

A continuación se representan los datos obtenidos en los segundos ensayos de la campaña 2014-2015:



Gráfica 2: P.C.S. segundos ensayos campaña 2014-2015

La línea de tendencia tiene la expresión $y = -237,94x + 21898$

Se puede apreciar como los resultados obtenidos en los ensayos siguen una tendencia lineal, con un poder calorífico superior menor en los resultados con mayor porcentaje de humedad, y viceversa. Los resultados tienen una mayor dispersión de los valores obtenidos con porcentajes de humedad elevados, particularmente entre los resultados obtenidos entorno al 35 % y 40 % de humedad, con gran similitud a los resultados anteriores obtenidos en la campaña 2014-2015.

El valor del poder calorífico superior de las muestras de esta campaña con un porcentaje de humedad del 0 %, es decir, sin ningún contenido de agua en las mismas es: 21898 kJ/kg. Este valor es casi idéntico al valor de los resultados anteriores, donde se obtuvo: 21349 kJ/kg.

5.3.3 Ensayos campaña 2015-2016

Este tercer ensayo se realizó sobre las muestras de la campaña 2015-2016.

Las muestras de este segundo ensayo fueron secadas previamente con la estufa de convección del departamento de producción agraria a una temperatura de 60 °C. Estuvieron 3 días hasta que se el peso total de la muestra no variaba.

Los resultados son:

2,38 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0691	1,1056	1,0459	0,9346	0,9863
P.C.S. (kJ/kg)	22535,65	22591,21	22640,42	22542,72	22608,79

Tabla 18: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 2,38 %

7,4 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,2079	1,0291	0,9065	1,1273	1,0382
P.C.S. (kJ/kg)	21230,99	21346,35	21429,94	21312,58	21297,73

Tabla 19: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 7,4 %

12,2 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,1059	1,2018	1,1791	0,9873	1,0532
P.C.S. (kJ/kg)	20019,18	20160,69	20229,68	20301,73	19883,99

Tabla 20: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 12,2 %

17,45 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,1024	1,1194	1,1563	1,1326	1,2832
P.C.S. (kJ/kg)	18989,50	18797,12	18722,48	18946,49	18644,61

Tabla 21: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 17,45 %

20,34 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0741	1,1763	1,2342	1,1234	1,1275
P.C.S. (kJ/kg)	18436,13	18390,69	18464,95	18339,56	18387,84

Tabla 22: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 20,34 %

25,81 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0283	1,0722	1,0654	1,1013	1,0524
P.C.S. (kJ/kg)	17062,98	16389,23	16936,62	16879,22	16583,16

Tabla 23: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 25,81 %

30,57 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9335	1,1256	1,1329	1,0647	0,9865
P.C.S. (kJ/kg)	15743,64	16144,21	16289,11	16040,66	15841,50

Tabla 24: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 30,57 %

35,69 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9007	1,0001	1,0874	1,1235	0,9622
P.C.S. (kJ/kg)	14821,11	14797,97	14766,72	14858,60	14718,56

Tabla 25: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 35,69 %

40,79 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0221	0,9981	1,0208	0,9122	0,9726
P.C.S. (kJ/kg)	13620,97	13640,01	13773,89	13738,75	13562,18

Tabla 26: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 40,79 %

45,20 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,1867	1,1945	1,0597	0,9304	1,0937
P.C.S. (kJ/kg)	12890,78	12801,91	12784,92	12724,76	12750,15

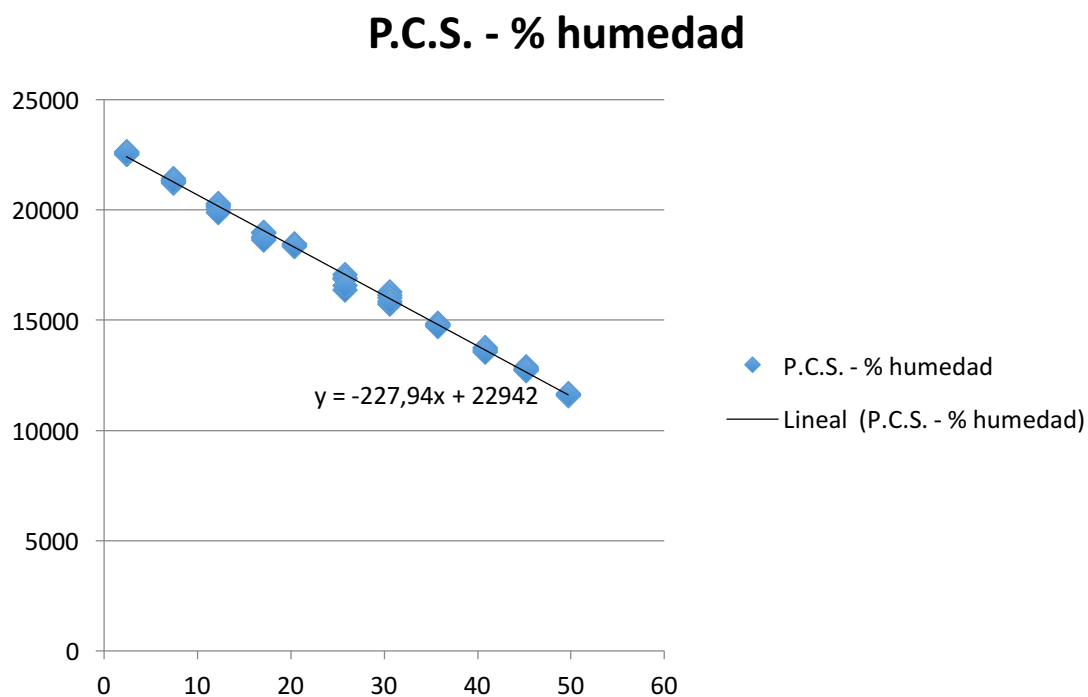
Tabla 27: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 45,20 %

49,7 % de humedad

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,4919	0,9784	1,0131	1,1328	0,9063
P.C.S. (kJ/kg)	11582,36	11660,14	-----	11651,69	-----

Tabla 28: Ensayo campaña 2015-2016. Humedad 49,7 %

A continuación se representan los datos obtenidos en los primeros ensayos de la campaña 2015-2016:



Gráfica 3: P.C.S. ensayos campaña 2015-2016

La línea de tendencia tiene la expresión $y = -227,94x + 22942$

Se puede apreciar como los resultados obtenidos en los ensayos siguen una tendencia lineal, con un poder calorífico superior menor en los resultados con mayor porcentaje de humedad, y viceversa. En este ensayo los datos obtenidos se ajustan muy bien a la línea de tendencia siendo el punto donde mas se desvía en los resultados obtenidos para el porcentaje de humedad de 25,81 % pero con una desviación menor a los resultados obtenidos anteriormente en los anteriores ensayos.

El valor del poder calorífico superior de las muestras de esta campaña con un porcentaje de humedad del 0 %, es decir, sin ningún contenido de agua en las mismas es: 21349 kJ/kg.

5.4 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad

Con los resultados ya obtenidos de los ensayos de las dos campañas, se ha obtenido una relación para la obtención del poder calorífico superior de una muestra para cualquier porcentaje de humedad. Dicha relación tiene en cuenta el poder calorífico superior con un porcentaje de humedad de 0 %, es decir, la energía que da una muestra de alperujo teniendo en cuenta que no tenga nada de agua, y por otra parte la entalpía de vaporización del agua. Se relacionan estas dos variables dependiendo del porcentaje de cada una con el que se vaya a obtener el resultado del poder calorífico superior para un porcentaje de humedad concreto.

La relación es la siguiente:

$$P. C._x = P. C. S. * (1 - x) - h_{fg} * x$$

donde:

- $P. C._x$: Valor del poder calorífico con un porcentaje de humedad x determinado (kJ/kg).
- $P. C. S.$: Valor del poder calorífico superior con un valor de humedad de 0 %. Varía en cada ensayo realizado en las dos campañas (kJ/kg).
- h_{fg} : Entalpía de vaporización del agua. Se ha sacado del libro de Fundamentos de Termodinámica Técnica un valor para la entalpía de vaporización a una temperatura de 100 °C. El valor es: 2257,0 kJ/kg.

Se va a comprobar que mediante la relación anterior se obtiene un valor aproximado del poder calorífico superior para un porcentaje determinado de humedad, y que dicho valor coincide con los 5 valores obtenidos para cada ensayo, dentro de cada temporada.

Con dicha comprobación se verificará que los datos obtenidos se han realizado de manera correcta, y da una relación importante para obtener de manera fácil y rápida cualquier valor que se desee del poder calorífico superior para la realización de cálculos.

A continuación se presentan las comprobaciones para los tres ensayos realizados dentro de las dos campañas.

5.4.1 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en los primeros ensayos de la temporada 2014-2015

Para realizar la comprobación sobre los primeros ensayos de la temporada 2014-2015, primero se recuerda su la línea de tendencia obtenida de los datos obtenidos en los ensayos. La recta es la siguiente: expresión:

$$y = -222,93x + 21349$$

De la misma se obtiene el valor del poder calorífico superior para un porcentaje de humedad de 0 %, el cual es: P. C. S. : 21349 kJ/kg.

La entalpía de vaporización tiene el valor sacado del libro Fundamentos de Termodinámica Técnica a una temperatura de 100 °C, y se asigna al siguiente valor: h_{fg} : 2257,0 kJ/kg.

A continuación se detallan dos comprobaciones con distinto porcentaje de humedad para ver si los valores están dentro de lo previsto.

a) 14,9 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 14,9 \% = 0,149$.

$$P. C._x = P. C. S. * (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P. C. (x = 0,149) = 21349 * (1 - 0,149) - 2257,0 * 0,149 = 17831,71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0812	1,1171	1,1578	1,0682	1,2102
P.C.S. (KJ/KG).	18332,69	18024,09	17733,97	18314,66	18009,02

Tabla 29: Comprobación 14,9 % de humedad. Primer ensayo campaña 2014-2015

b) 35,32 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 35,32 \% = 0,3532$.

$$P.C._x = P.C.S.* (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P.C. (x = 0,3532) = 21349 * (1 - 0,3532) - 2257,0 * 0,3532 = 13011,36 \frac{kJ}{kg}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,2845	0,9502	1,0816	1,0910	1,0329
P.C.S. (KJ/KG)	14051,79	13780,97	13565,74	13650,30	13856,57

Tabla 30: Comprobación 35,32 % de humedad. Primer ensayo campaña 2014-2015

5.4.2 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en el segundo ensayo de la temporada 2014-2015

Para realizar la comprobación sobre los primeros ensayos de la temporada 2014-2015, primero se recuerda su la línea de tendencia obtenida de los datos obtenidos en los ensayos. La recta es la siguiente: expresión:

$$y = -237,94x + 21898$$

De la misma se obtiene el valor del poder calorífico superior para un porcentaje de humedad de 0 %, el cual es: P. C. S. : 21898 kJ/kg.

La entalpía de vaporización tiene el valor sacado del libro Fundamentos de Termodinámica Técnica a una temperatura de 100 °C, y se asigna al siguiente valor: h_{fg} : 2257,0 kJ/kg.

A continuación se detallan dos comprobaciones con distinto porcentaje de humedad para ver si los valores están dentro de lo previsto, a igual que en el apartado anterior.

a) 11,27 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 11,27 \% = 0,1127$.

$$P. C._x = P. C. S. * (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P. C. (x = 0,1127) = 21898 * (1 - 0,1127) - 2257,0 * 0,1127 = 19175,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,891	0,902	0,952	0,996	1,091
P.C.S. (KJ/KG)	19047,38	19711,66	19321,25	19539,03	19354,93

Tabla 31: Comprobación 11,27 % de humedad. Segundo ensayo campaña 2014-2015

b) 33,35 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 35,35 \% = 0,3335$.

$$P.C._x = P.C.S. * (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P.C. (x = 0,3535) = 21898 * (1 - 0,3535) - 2257,0 * 0,3335 = 13842,31 \frac{kJ}{kg}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,0818	1,0186	0,8920	0,9158	1,1578
P.C.S. (KJ/KG)	13852,34	14152,55	13667,41	13908,91	13940,96

Tabla 32: Comprobación 33,35 % de humedad. Segundo ensayo campaña 2014-2015

5.4.3 Comprobación poder calorífico superior para porcentajes de humedad en el ensayo de la temporada 2015-2016

Para realizar la comprobación sobre los ensayos de la campaña 2015-2016, primero se recuerda su la línea de tendencia obtenida de los datos obtenidos en los ensayos. La recta es la siguiente: expresión:

$$y = -227,94x + 22942$$

De la misma se obtiene el valor del poder calorífico superior para un porcentaje de humedad de 0 %, el cual es: P. C. S. : 22942,00 kJ/kg.

La entalpía de vaporización tiene el valor sacado del libro Fundamentos de Termodinámica Técnica a una temperatura de 100 °C, y se asigna al siguiente valor: h_{fg} : 2257,0 kJ/kg.

A continuación se detallan dos comprobaciones con distinto porcentaje de humedad para ver si los valores están dentro de lo previsto, a igual que en el apartado anterior.

a) 12,2 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 12,2 \% = 0,122$.

$$P. C._x = P. C. S. * (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P. C. (x = 0,122) = 22942 * (1 - 0,122) - 2257,0 * 0,122 = 19867,72 \frac{kJ}{kg}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,1059	1,2018	1,1791	0,9873	1,0532
P.C.S. (KJ/KG)	20019,18	20160,69	20229,68	20301,73	19883,99

Tabla 33: Comprobación 12,2 % de humedad. Ensayo campaña 2015-2016

b) 40,79 % de humedad

Se asigna el valor a $x = 30,57 \% = 0,3057$.

$$P.C._x = P.C.S.* (1 - x) - h_{fg} * x$$

$$P.C. (x = 0,3057) = 22942 * (1 - 0,3057) - 2257,0 * 0,3057 = 15238 \frac{kJ}{kg}$$

Se puede apreciar como este valor esta dentro de los valores obtenidos teóricamente en los ensayos de dicha campaña. A continuación se muestran los valores obtenidos para ese porcentaje de humedad en dicha campaña:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	0,9335	1,1256	1,1329	1,0647	0,9865
P.C.S. (KJ/KG)	15743,64	16144,21	16289,11	16040,66	15841,50

Tabla 34: Comprobación 40,79 % de humedad. Ensayo campaña 2015-2016

5.5 Límite de porcentaje de humedad con el cual se produce la combustión

Durante la realización de los ensayos se observó que existía un límite por encima del cual la biomasa presente en el calorímetro no producía ningún tipo de combustión. Se obtuvo dicho indicio debido a la observación de muestras que les eran añadidos elevados porcentajes de agua, lo que cuando se llegaba a un porcentaje entre el 45 % y el 55 % no producían la combustión requerida dentro del calorímetro.

En los **primeros ensayos** realizados en las muestras del **año 2014-2015**, la combustión de las muestras en los ensayos se cortó en muestras con un porcentaje de humedad del **45 %**, y los resultados obtenidos con muestras con un porcentaje de humedad del **41,68 %** ya empezaban a dar problemas de combustión, obteniendo resultados únicamente en 2 ensayos de los 5 realizados.

En los **segundos ensayos** realizados en las muestras del **año 2014-2015**, la combustión de las muestras de dicha temporada se corta entorno a un porcentaje de humedad del **38,42 %**, en donde de 5 ensayos realizados, se ha obtenido resultado del poder calorífico superior de las muestras en 3 de ellos.

En los últimos ensayos realizados sobre muestras de la **campana 2015-2016**, la combustión de las muestras se corta entorno a un porcentaje de humedad del **49,7 %**, en donde de 5 ensayos realizados se ha obtenido resultado del poder calorífico superior en 3 de ellos.

Puede apreciarse la variación de combustión entre las muestras de la **campaña 2014-2015**, y la **campaña 2015-2016**, en donde en la primera se ha obtenido el límite de combustión entorno al **40 %**, habiendo obtenido los valores últimos en porcentajes de humedad talque: **41,68 %** y **38,42 %** , y no se obtuvo ningún resultado para valores con una humedad aproximada al **45 %**. En cambio, para las muestras de la **campaña 2015-2016** el límite de combustión se produce con una humedad del **49,7 %**, valor superior a los ensayos de la campaña anterior.

El límite de combustión para las muestras de alperujo se limita entre el **40 %** y el **50 %**, existiendo distintas variaciones dependiendo de la campaña de la que procedan las muestras de alperujo. Esto puede ser debido a las distintas concentraciones de aceitunas de distinta variedad las cuales se usaron para realizar el proceso de obtención del aceite y que puede haber propiciado la variación en los ensayos. También pueden estar condicionados debido al porcentaje de huesillo presentes en las muestras, puesto que en dos campañas distintas, y depende del día, puede variar el porcentaje de huesillo presente en el residuo.

5.6 Secado del residuo de trujal

Previamente al objetivo final del alperujo en este proyecto, es decir, su combustión en calderas de biomasa para la producción de aceite, se necesita reducir el porcentaje de humedad presentes en las muestras para así obtener un mayor rendimiento del material.

Para la obtención de un método óptimo, se recopiló información mediante el profesor Ignacio Irigoien del departamento de producción agraria dentro de la Universidad Pública de Navarra acerca de los métodos que cumplieron este objetivo.

5.6.1 Secado a la intemperie

La principal aportación para la resolución de este conflicto es la de realizar un secado a la intemperie, lo que secaría considerablemente toneladas de alperujo en cuestión de meses.

Debido a una colaboración del trujal Mendía de Arróniz con la Universidad Pública de Navarra, se desarrolló un proyecto en el cual un alumno del máster de Ingeniería Agrónoma se encargó de realizar un estudio de las variaciones de humedad de varias muestras en un terreno de Arróniz. El estudio duró entorno a **5 – 6 meses** y consta de **3 pilas y un estanque** los cuales fueron motivo de estudio por parte del alumno. Las pilas y el estanque estaban formados por tres elementos que fueron mezclados homogéneamente:

- Alperujo
- Restos de naranjas
- Hojas y ramas de olivos procedentes de las alubias que los agricultores acercan al trujal para su producción en aceite

El estudio comenzó a finales de noviembre y finalizó a principios de mayo, y por desgracia, el estudio no se encuentra totalmente documentado y no se finalizó debido a que el alumno encontró un trabajo y dejó el estudio a medio camino.

El personal del departamento de producción agraria documentó el proceso donde se muestran las variaciones a lo largo del tiempo, y que se muestra a continuación. Cabe destacar que para este proyecto solo se ha tenido en cuenta el estudio realizado sobre el estanque, no se han tenido en cuenta las pilas.

El estudio empezó a desarrollarse entorno a finales del mes de noviembre.

El primer paso para la realización del estudio es el de juntar los distintos elementos homogéneamente. En esta primera imagen se aprecia como al alperujo que se encuentra en el suelo se le añaden las naranjas.



Imagen 42: Alperujo y naranjas

También se añaden los restos de hojas y ramas separados de las olivas que los agricultores inevitablemente transportan al trujal y que se separan dentro del proceso de elaboración del aceite.



Imagen 43: Alperujo, naranjas y hojas de olivos

Una vez se tienen los tres elementos se procede a realizar el mezclado de los mismos de forma que quede un residuo final lo mas homogéneo posible. Esta parte del proceso se realiza con la pala presente en la imagen anterior con la cual se remueven los materiales en un determinado tiempo hasta obtener el residuo final que se quiera.

Para prevenir problemas de lixiviados de los residuos con el propio terreno donde estén situados y los terrenos colindantes se instala debajo de los mismos un plástico con dicho fin. Esto ayudará a que los lixiviados procedentes de los residuos no se filtren al terreno. A continuación se muestran un par de fotos de la colocación del plástico en un terreno propiedad del trujal de Arróniz y cercano a un muro de hormigón:



Imagen 44: Plástico protección lixiviados

La siguiente imagen nos indica las dimensiones de la extensión en la que se realizó el estudio:



Imagen 45: Alperujo, naranjas y hojas de olivos

Una vez colocado el plástico de protección se procedió a acercar las muestras de alperujo, naranjas y restos de hojas de olivos a la zona habilitada para ello. Con ese fin, se realizó todo con la maquinaria disponible en ese momento y ya utilizada para la realización de la mezcla, y se expandió sobre el plástico con una altura aproximada de 30 cm.

En la imagen siguiente podemos apreciar el residuo sobre la superficie con aproximadamente **un mes y medio** desde que el residuo fue expandido sobre el terreno. La imagen fue sacada durante el mes de enero.



Imagen 46: Residuo con mes y medio de secado

Se puede apreciar como el residuo aun tiene un elevado grado de humedad debido a su color oscuro con bastante parecido a la tierra cuando esta húmeda. También se puede apreciar como el material se ha secado tras mes y medio de exposición en el ambiente, y como se han formado grietas entre el material debido a que al haberse evaporado una cierta cantidad de agua, el material se contrae.

Poco a poco durante el transcurso del tiempo se va perdiendo humedad dentro del residuo, y el mismo se va contrayendo y adquiriendo un tono cada vez mas claro, muy parecido a la tierra seca. La siguiente fotografía esta tomada a mediados del mes de abril:



Imagen 47: Residuo a mediados de abril

Se puede apreciar claramente la diferencia en el tamaño de las grietas comparado con la fotografía anterior, y en el aclaramiento en el color del mismo. El porcentaje de humedad.

En la siguiente imagen se comprueba el tamaño de las grietas, y se aprecia la profundidad del residuo, e aproximadamente 30 cm.



Imagen 48: Grietas residuo



Imagen 49: Grietas residuo general

Finalmente, el residuo se recoge a principios del mes de mayo, en donde tiene el aspecto siguiente:



Imagen 50: Residuo en mayo

El residuo tiene aspecto de haber perdido bastante porcentaje de humedad:



Imagen 51: Color del residuo en mayo

A continuación se muestran imágenes de un bloque de residuo ya seco donde se aprecia que tiene un bajo porcentaje de humedad.



Imagen 52: Parte de residuo secado a la intemperie



Imagen 53: Tamaño del residuo

Mediante el transcurso del tiempo en el cual el residuo se encontraba secándose a la intemperie, se realizó un estudio previo de las muestras y dos estudios mientras el residuo se encontraba en el emplazamiento, en distintas fases del proyecto. De todas las características analizadas únicamente interesa para este trabajo el porcentaje de humedad en distintas fases del estudio. Es importante matizar que debido a que el alumno no finalizó el estudio puesto que se colocó laboralmente, no se dispone del valor del porcentaje final de humedad del alperujo al finalizar el estudio, pero todo ello sirve para hacerse una idea del porcentaje de humedad que se podría eliminar.

El primer estudio realizado el día 26/11/2013, antes de dejar secando las muestras nos indica lo siguiente:

ENSAYOS INICIALES ALPERUJO
26/11/2013

CE (mS/l)	3,75
pH	5,9
HUMEDAD	71,43 %
POLIFENOLES	0,18% (base seca)
ANALISIS COMPLETOS	SI

Tabla 35: Ensayos iniciales secado 26/11/2013

El segundo estudio se realizó el día 20/03/2014, 4 meses después del primero, y los datos que se tienen en ese periodo de tiempo son los siguientes:

ENSAYOS 20/03/2014

	ALPERUJO
CE (mS/l)	3,68
pH	5
HUMEDAD	65,65 %
ANALISIS COMPLETOS	NO

Tabla 36: Ensayos secado 20/03/2014

Por último, el tercer ensayo se realizó el día 22/04/2014, 5 meses después de empezar con el estudio. Los resultados son los siguientes:

ENSAYOS 22/04/2014	
	ALPERUJO
CE (mS/l)	2,16
pH	5,3
HUMEDAD	58,93 %
ANALISIS COMPLETOS	NO

Tabla 37: Ensayos secado 22/04/2014

Los residuos estuvieron secándose entorno a mediados de mayo, donde finalizó el estudio y se dio por concluido.

Se puede apreciar como el porcentaje de humedad baja más del mes de marzo al mes de abril donde baja un 6,72 %, que del porcentaje inicial de humedad nada mas expandir los residuos sobre el terreno al mes de marzo donde baja 5,78 % de humedad. Esta variación puede deberse a la estadística de cuando fue la última vez que llovió antes de que se realizara el estudio, y que en los meses de diciembre y enero la probabilidad de que llueva es mayor que entre los meses de marzo y abril.

Este método para eliminar humedad del residuo tiene dos principales problemas para llevarlos a cabo.

1. Superficie necesaria para el secado del material: Se necesita una superficie necesaria para el secado de alperujo a una escala mayor. Esto puede ser el mayor inconveniente para realizar este proceso.
2. Meteorología: Depende de la zona en donde se encuentra la superficie donde se quiera realizar el secado a la intemperie se puede tener mayor o menor rendimiento. La recogida de la aceituna se realiza durante los meses de diciembre y enero por lo que coincidiría con meses fríos y lluvias mas ocasionales.

a) Mejora de secado a la intemperie

Para la mejora de este método se ha pensado en desarrollar una cubierta protección frente al tiempo. Debido a que con la lluvia el material puede sufrir variaciones en su humedad se podría plantear la opción de resguardar el alperujo en una cubierta a una o dos aguas con un techo de policarbonato o cristal transparente para que el sol pueda calentar el material, ofrezca una protección importante frente a la lluvia, y a su vez deje los laterales abiertos para crear una corriente de viento que ayude a eliminar esa humedad del material.

5.6.2 Secado mediante centrifugación

Otro método para eliminar agua de los residuos de alperujo es el de centrifugación. Este procedimiento se puede realizar mediante los centrifugadores de los que dispone el trujal Mendía de Arróniz para la extracción de aceite. El procedimiento en sí supone un coste adicional para el propio trujal que puede verse compensando con una venta de este material a un precio más elevado.

Como objetivo final para poder tener un buen aprovechamiento energético en una caldera se ha marcado tener las muestras de alperujo con un porcentaje de humedad cercano al 40 % para así poder obtener la energía suficiente necesaria para con el humo obtenido de la combustión reducir el porcentaje de humedad de las siguientes muestras a quemar a aproximadamente un 15 %. Para ser capaces de rebajar la humedad del alperujo del 71 % aproximado con el que sale del trujal hasta un 40 %, la opción mas viable es realizar una fase inicial de secado de humedad mediante centrifugación, y una segunda fase de secado a la intemperie. Se podría analizar en mayor profundidad que porcentaje de humedad rebajar en cada proceso, pero para ello es necesario un estudio mas preciso y exhaustivo.

5.7 Secado final para uso como biocombustible

En este sub-apartado se realiza un estudio para reducir el porcentaje de humedad del alperujo a un nivel inferior mediante el uso del calor generado por el mismo biocombustible pero con mayor humedad, y todo ello para así poder obtener una cantidad mayor de energía con dicho procedimiento.

El objetivo es tratar de bajar el porcentaje de humedad con el que teóricamente las muestras de alperujo llegan al destinatario que las introducirá en la caldera (40 % de humedad), mediante el uso de los humos procedentes de la combustión. Este método consta de dos partes:

1. Cuando el usuario quiera iniciar la caldera, primero se introducirá una cantidad de combustible (alperujo) en la caldera con un grado de humedad aproximado de 40 %, y que mediante su combustión ayudará bajar el grado de humedad de las siguientes muestras que se introduzcan para la producción de energía con un fin.
2. Una vez que la caldera se encuentre funcionando de forma continua, el calor procedente de los humos servirá de la misma manera para ir reduciendo el porcentaje de humedad presente en las muestras de combustible que se vayan a introducir posteriormente.

De esta manera conseguimos que el biocombustible que se encuentre combustionando en la caldera tenga un elevado poder calorífico. El siguiente paso sería ver que cantidad de alperujo se necesitaría para reducir el poder calorífico de las siguientes muestras.

5.7.1 Cantidad necesario de alperujo para secar otra cantidad de alperujo

Marcando como objetivo la reducción de humedad presente en el biocombustible desde un 40 % hasta un nivel de humedad inferior como es 15 %, en donde la energía que aporta es bastante interesante (en torno a 19000 kJ/kg).

Como punto de partida se tiene alperujo con un 40 % de humedad, lo que, tal como indican los datos de la campaña 2015-2016 y realizando su media obtenemos un valor de energía por kilogramo de material tal que:

$$\begin{aligned}\text{Energía obtenida} &= \frac{13620,97 + 13640,01 + 13773,89 + 13738,75 + 13562,18}{5} = \\ &= 13667,16 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Este datos nos indica que un kg de alperujo aportaría una cantidad de energía de 13667,16 kJ.

Teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera donde se realizará la combustión del alperujo, que aproximadamente y tomando un valor bajo de rendimiento se aproximará a 80 %. Cabe destacar que los valores de las calderas elegidas y presentes en el apartado 6 del trabajo tienen valores mayores.

Teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera, la energía que se obtendrá de la combustión de alperujo con el 40 % de humedad será la siguiente:

$$\text{Energía obtenida} = 13667,16 * 0,8 = 10933,73 \text{ kJ/kg}$$

Para continuar, calcularemos la energía necesaria para eliminar un porcentaje de humedad de la muestra de biocombustible mediante la siguiente relación, donde se tiene en cuenta la entalpía de vaporización del agua:

$$\text{Energía necesaria} = (x - x') * h_{fg}$$

donde:

- x : Porcentaje de humedad presente en las muestras de las que dispone el usuario. Aproximadamente un 40 %.
- x' : Porcentaje de humedad al que se quiere reducir la muestra para obtener una mayor energía. Aproximadamente se rebajará hasta el 15 %.
- h_{fg} : Entalpía de vaporización del agua. Se ha sacado del libro de Fundamentos de Termodinámica Técnica un valor para la entalpía de vaporización a una temperatura de 100 °C. El valor es: 2257,0 kJ/kg.

Teniendo en cuenta que se quiere reducir el porcentaje de humedad del 40 % a un 15 %, la energía que necesitaremos será la siguiente:

$$\text{Energía necesaria} = (0,4 - 0,15) * 2257,0 = 564,25 \text{ kJ/kg}$$

Se necesitarán 564,25 kJ de energía para rebajar la humedad de un valor aproximado al 40 % a otro aproximado del 15 % de un kilogramo de combustible.

Por lo que:

$$\frac{10933,73 \text{ kJ/kg}}{564,25 \text{ kJ/kg}} = 19,38$$

Este último valor nos indica que con la energía obtenida al quemar 1 kilogramo de alperujo con el 40 % de humedad en la caldera, será la necesaria para secar 19,38 kg de combustible de otras muestras de combustible hasta un 15 % de humedad.

5.8 Comparativa combustibles

En este apartado se compara el poder calorífico superior del alperujo respecto de otros biocombustibles utilizados actualmente en calderas. Con la siguiente tabla se pretende tener como comparación otros combustibles, lo que servirá para poder sacar conclusiones sobre su posible utilización real en calderas.

Combustibles	Poder Calorífico Superior (PCS)
Alperujo (30 % humedad)	4,45 kWh/kg
Gasóleo	9,94 kWh/l
Gas Natural	12,77 kWh/l
Leña (30 % humedad)	4,25 kWh/kg
Astilla (30 % de humedad)	3,5 kg
Pellets	4,9 kWh/kg

Tabla 38: Comparativa biocombustibles

Se puede observar como el poder calorífico superior del alperujo con un 30 % de humedad tiene gran similitud con el pellet, siendo este último un poco mas energético.

Comparado con combustibles como la leña y la astilla, realizado todo bajo las mismas condiciones de humedad (30 %), se puede apreciar que el alperujo es un poco mas energético que la leña, y entorno a 1 kWh/kg mas que la astilla.

Respecto a otros combustibles mas comunes como lo son el gasóleo y el gas natural, hay una fuerte diferencia en su poder calorífico superior, siendo el gas natural usado en viviendas en ciudad el mas energético de todos los combustibles presentes en la lista.

6. Calderas para uso doméstico e industrial

En este apartado se explican los distintos tipos de calderas dependiendo de las diferentes marcas disponibles en el mercado, así como las variaciones que pueden adoptar relacionadas con los combustibles, para así poder utilizar una caldera con diferentes combustibles posibles. Se explican características específicas de diferentes calderas escogidas dentro del mercado nacional disponible.

6.1 Calderas

Para la recogida de información acerca de calderas que pudieran funcionar con alperujo como combustible se realizó la búsqueda principalmente en internet, en revistas de empresas que se dedican a la venta de estufas y calderas tal que “Brico dépôt” o “Leroy Merlin”, y para la obtención de información de primera mano de parte de especialistas del mundo de la biomasa, se asistió a la feria “Biomasa en tu casa” localizada en la Plaza del Castillo en la capital Navarra durante los días del 2 al 6 de Marzo de 2016. En ella se tuvo un primer contacto con distintos proveedores en donde en cada módulo habilitado en la feria se obtuvo diferente información acerca de biomasa y calderas existentes en el mercado. Además se recopiló información de proveedores de calderas dentro de la zona próxima a Pamplona.



Imagen 54: Feria Biomasa en tu casa. Fuente: www.agroforestaediciones.com

Con toda la información obtenida de todas las formas anteriormente mencionadas se ha realizado una selección de calderas con las características suficientes para emplearlas con el alperujo procedente de los análisis del trabajo.

Los modelos de caldera seleccionados son los siguientes:

➤ Hergom Gredos 25



Imagen 55: Hergom Gredos 25. Fuente: <http://hergomalternative.com>

Esta caldera esta diseñada para funcionar automáticamente con combustibles sólidos talque pellets, cáscaras de almendras trituradas, alperujo, hueso de oliva...

Este modelo es una buena opción para su utilización como caldera con combustible de alperujo para una casa aplicado al agua caliente sanitaria (A.C.S.) y calefacción.

Características:

- Potencia: 25 kW.
- Cuerpo de caldera: Caldera construida en acero soldado de alta calidad.
- Rendimiento: La caldera consta de dos pasos de humos de salida de combustión con un diseño del segundo paso de humos que mejora la evacuación de los mismos. Además la caldera se ha diseñado con la mayor superficie de intercambio posible, todo ello para mejorar el rendimiento de la caldera. Rendimiento de la caldera: 88 %
- Presión de diseño: 3 bar.
- Temperatura máxima de funcionamiento: 90 °C.
- Quemador: Tipo de afloración con elementos intercambiables de acero inoxidable. La caldera consta de una conexión auxiliar con un ventilador para evitar el retroceso de humos.
- Inyección de combustible con doble sinfín: Sistema de seguridad contra retroceso de llama.
- Sistema de limpieza y recogida de cenizas: Los tubos del intercambiador y la cámara de combustión se limpian de forma manual. La caldera tiene una puerta independiente para la recogida de cenizas, con un amplio cajón de cenizas situado en la parte inferior de la misma.
- Sistema de control de la caldera: Sencillo para un funcionamiento eficaz de la caldera.
 - Regulación de temperaturas con termostatos mediante tarjeta electrónica.
 - Termostato con temperatura máxima de 90°C que activa la bomba de calefacción si se sobrepasa dicha temperatura.
 - Regulación electrónica para las distintas potencias.
 - Regulación de mantenimiento de llama: Actúa cuando sobrepasa un tiempo sin activarse el quemador.

- La caldera consta de una **posición leña** que permite el uso de dicha caldera con leña, desarrollando 6 potencias distintas para los diferentes usos para los que esté destinada.
- Control de la bomba de calefacción.
- Control de la bomba de agua corriente sanitaria (A.C.S.).
- Entrada para reloj horario.
- Peso: 250 kg.
- Capacidad de la tolva: 200 L.
- Medidas del modelo Hergom Gredos 25
 - Ancho: 123 cm.
 - Fondo: 120 cm.
 - Altura: 140 cm.
- Precio: 2330,00 € + I.V.A.

➤ Hergom Gredos 30



Imagen 56: Hergom Gredos 30. Fuente: google

Este modelo de caldera es el mismo estéticamente que el modelo anterior, aplicando la principal diferencia entre ambas que es la potencia que desarrollan. Este modelo cuenta con una potencia mayor que la anterior, puesto que es capaz de obtener 30 kW.

Esta caldera está diseñada para funcionar con combustibles sólidos tal que pellets, cáscaras de almendras trituradas, alperujo, hueso de oliva...

Otras características a destacar que diferencian este modelo del anterior son las siguientes:

- Tres pasos de humos para obtener el mayor rendimiento posible.
- Rendimiento: 90,5%

- Medidas del modelo Hergom Gredos 30:
 - Ancho: 125 cm.
 - Fondo: 93 cm.
 - Altura: 128 cm.
- Peso: 250 kg.
- Dimensión salida de humos: 150 mm.
- Precio: 2980,32 € + I.V.A.

➤ Dooel-Retifica 58



Imagen 57: Dooel-Retifica. Fuente: <http://www.ventadecalderasdebiomasa.es>

Esta caldera esta diseñada para funcionar automáticamente con combustibles sólidos talque pellets, cáscaras de almendras trituradas, alperujo, hueso de oliva...

Características:

- Potencia: 58 kW
- Cuerpo de caldera: Calderas de acero, diseñadas y construidas para utilizar materiales sólidos en estado granular.

- Rendimiento: El modelo consta de una estructura de desarrollo horizontal a tres pasos de humos, construida por un espacio completamente bañado en agua en el cual está colocada la cámara de combustión de gran volumen. Esta cámara está construida de modo que la llama y los humos se comuniquen a través de los tubos de agua, aprovechando totalmente la combustión y para obtener un máximo rendimiento en la caldera, con su consiguiente ahorro energético. Rendimiento de la caldera: 93 %.
- Componentes de la caldera:
 - Grupo quemador: Consiste en el grupo terminal alimentador, el grupo cuerpo de la caldera, accesorios para limpieza y un recogedor de cenizas.
 - Montaje de los componentes: Simple y práctico.
 - Posición del quemador: Posibilidad de posicionarse en todas las direcciones: 360 °.
 - Conexión hidráulica: Salida en alto posterior y retorno en bajo posterior.
- Características técnicas:
 - Mínimos consumos con elevadas prestaciones para una compra lo mínima posible para todo el invierno.
 - Gran autonomía: Posibilidad de tener la calefacción en funcionamiento durante 72 horas seguidas sin necesidad de realizar ninguna recarga.
 - Alimentación automática: El combustible cargado en la tolva diseñada para ello es transportado automáticamente hacia la caldera mediante un sinfín y con una frecuencia constante hacia el quemador.
 - Encendido de llama: La primera vez manual.
- Medidas de la caldera Dooel-Retifica 58: No disponibles
- Precio: 2713,00 € + I.V.A.

➤ Lasian biomax 25



Imagen 58: Lasian biomax. Fuente: <http://www.lasian.es/en/productos/biomax>

La caldera desarrolla 25 kW con biocombustibles sólidos como alperujo

Este modelo es una buena opción para su utilización como caldera con combustible de alperujo para una casa aplicado al agua caliente sanitaria (A.C.S.) y calefacción.

Características:

- Potencia: 25 kW.
- Rendimiento: Superior al 90 %.
- Cuerpo de caldera: Modelo diseñado de hierro fundido que favorece una vida mas larga al reducir considerablemente los daños derivados por condensación.
- Características técnicas:
 - Caldera de encendido y funcionamiento automático con combustibles sólidos talque alperujo, cáscaras de almendras, hueso de oliva y pellets.
 - Sistema electrónico para el control de la caldera y del circuito de calefacción, de fácil manejo.
 - Depósito de combustible con posibilidad de ubicarlo a ambos lados de la caldera y con una gran autonomía. Capacidad de 750 litros.
 - Funcionamiento sencillo y con un mantenimiento mínimo.
 - Diseño óptimo del cuerpo de caldera que asegura una gran capacidad de intercambio de calor entre los gases de la combustión y el agua, proporcionando elevados rendimientos en la caldera.
 - Las cenizas quedan almacenadas en la parte inferior de la caldera en un lugar de fácil accesibilidad para favorecer una buena extracción y vaciado.
 - Consumo de combustible: 2,2 – 7,3 Kg/h
 - Peso: 441 kg.
 - Presión de trabajo: 4 bar.
- Medidas del modelo Hergom Gredos 30:
 - Ancho: 55 cm.
 - Fondo: 67 cm.
 - Altura: 106 cm.
- Precio: 2998,00 € + I.V.A.

➤ Metal Fach SD DUO BIO-28/38

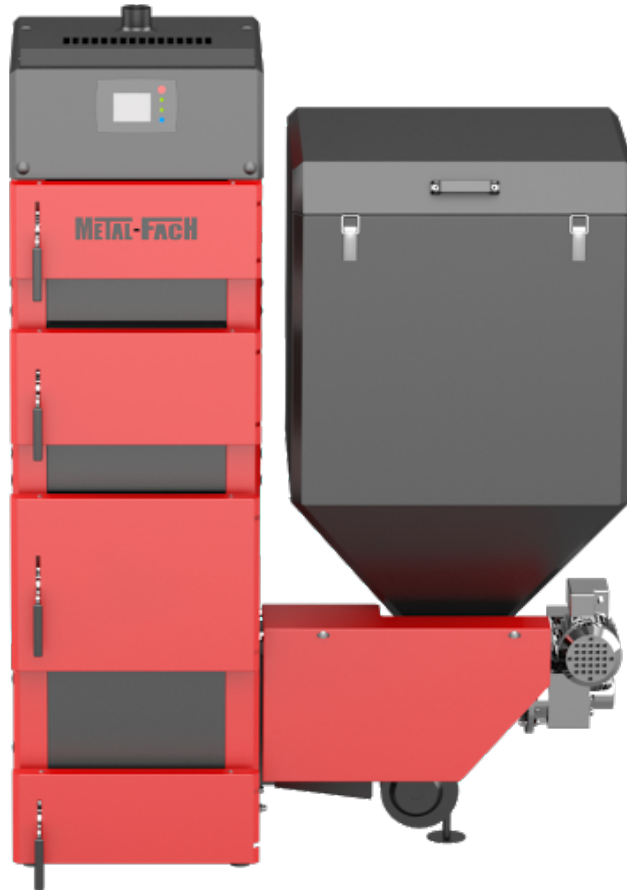


Imagen 59: Metal Fach. Fuente: <http://www.metalfach.es>

La caldera Metal Fach tiene dos modelos de distinta potencia, uno de 28 kW y otro de 38 kW. Ambos modelos se caracterizan por utilizar poli-combustibles, pues utilizan como combustible alperujo, cáscaras de almendras, alperujo, pellets y leña.

Los dos modelos elegidos de esta marca son estéticamente idénticos y con componentes similares, estando su principal diferencia en la potencia desarrollada en cada uno, y en la forma en que se controla cada una, siendo mas avanzado la de la caldera de potencia 38 kW.

Características:

- Potencia: 28 kW y 38 kW
- Cuerpo de caldera: Caldera diseñada de acero con dos cámaras de combustión y chapa de acero de 5 mm.
- Rendimiento: Elevado rendimiento de ambos modelos debido al diseño interior con cuatro pasos de humos para su perfecta optimización.
- Características técnicas:
 - Capacidad de tolva: 300 l.
 - Capacidad de depósito de combustible: 90 l.
 - Gran cámara de combustión para alperujo, cáscaras de almendras, leña y pellets.
 - Regulación de temperatura de impulsión en función de temperatura exterior.
 - Quemador de arrastre en fundición.
 - Tres modos de funcionamiento: modo manual, modo tiempo (con sonda exterior) y modo verano para agua corriente sanitaria (A.C.S.) en verano.
 - Sistema anti-legionela incluido.
 - Sistema anti-retroceso de llama.
 - Sistema de alarma en caso de falta de biocombustible en la caldera.
 - Regulador de tiro para favorecer la entrada de aire en el proceso de combustión.
 - Válvula de seguridad térmica para el buen funcionamiento de la caldera.
- Medidas:
 - Ancho: 50 cm.
 - Fondo: 68,5 cm.
 - Altura: 168 cm.
- Precio:
 - Modelo 28 kW: 2835,00 € + I.V.A.
 - Modelo 38 kW: 3210,00 € + I.V.A.

6.2 Comparativa de calderas

En este apartado se procede a realizar una comparativa entre los diferentes modelos y marcas encontrados en el mercado y mencionados en el apartado anterior. Se realizará una valoración de la caldera mas adecuada para utilizarla en una vivienda, valorando distintos aspectos de las mismas.

	PRECIO(€)	POTENCIA	RENDIMIENTO	MEDIDAS
HERGOM				Ancho: 123 cm.
GREDOS	2330,00+iva	25 kW	88 %	Fondo: 120 cm.
25/30	2980,32+iva	30 kW		Altura: 140 cm
DOOEL				
RETIFICA	2713,00+iva	58 kW	93 %	No disponibles
58				
LASIAN				Ancho: 55 cm.
BIOMAX	2998,00+iva	25 kW	> 90 %	Fondo: 67 cm.
25				Altura: 106 cm
METAL				Ancho: 50 cm.
FACH SD	2835,00+iva	28 kW	90 %	Fondo: 68,5 cm
DUO BIO-	3210,00+iva	38 kW	90 %	Altura: 168 cm
28/38				

Tabla 39: Comparativa de calderas

En la tabla anterior se pueden apreciar las distintas calderas recogidas en este proyecto, que se encuentran en venta en la actualidad y se han presentado las principales características de cada una para obtener así una información más útil de cara a realizar una elección de una de ellas.

Cabe destacar la similitud de rendimientos en todas las calderas de cada marca, debido al gran desarrollo tecnológico de las mismas.

A la hora de realizar una elección sobre una de ellas, se debería de tener en cuenta principalmente la potencia que necesitará la instalación en donde se vaya a necesitar la caldera, puesto que no es lo mismo instalar una caldera para agua corriente sanitaria (A.C.S.) y calefacción para un piso, para un chalet en una zona fría, o para una nave industrial, puesto que el volumen de aire que se necesita calentar con calefacción es mucho mayor en un chalet que para un piso debido a la diferencia de superficie.

Una vez se tenga una idea de la potencia requerida para una instalación, el siguiente paso que marcará una diferencia es el precio de la caldera, puesto que para una misma potencia de 25 kW, en dos modelos de diferentes marcas el precio varía desde los 2330,00€ + iva en la caldera Hergom Gredos 25, hasta los 2998,00 € + iva en el modelo de caldera Lasian Biomax 25.

Las dimensiones de las calderas son bastante similares, no tienen grandes diferencias por lo que el espacio que se necesite para una caldera, salvo excepciones, no supondrá una gran diferencia para la elección de un modelo.

7. Estudio energético en una vivienda

En este apartado se realizará un estudio energético de una vivienda estándar en donde se calcularán las necesidades energéticas de la misma para agua corriente sanitaria (A.C.S.) y calefacción, mediante la implantación de una caldera de polí-combustible en donde se utilizará alperujo como biocombustible. Se realizará un análisis de la carga necesaria de biomasa para dicha vivienda así como del volumen necesario en una vivienda para su resguardo, y una comparativa con distintos combustibles.

7.1 Cálculo potencias y demandas en vivienda

Para el cálculo de potencias y demandas necesarias de calefacción en una vivienda se ha realizado un diseño de una vivienda tal y como aparece en el plano nº1 en el trabajo. Dicha vivienda se ha diseñado para 3 personas y dispone de todas las estancias necesarias en una casa para vivir con total normalidad, y dispone únicamente de un piso. Cuenta también con garaje y una sala adyacente donde se sitúa la caldera y hay espacio para la colocación del alperujo listo para su uso.

Los cálculos constan de tres partes: cálculo de potencias, cálculo de demanda energética y por último el cálculo del combustible necesario para el correcto funcionamiento de la vivienda.

Con dichos cálculos se podrá realizar una elección de una caldera dentro de las aportadas en el apartado 6 para biocombustibles sólidos.

7.1.1 Cálculo de la potencia necesaria

Para realizar el cálculo de la potencia requerida por la vivienda se tendrán en cuenta las necesidades debidas al A.C.S. y a calefacción.

a) Potencia requerida por calefacción

Para calcular la potencia requerida por calefacción se ha escogido un ratio aproximado de: 100 W/m². Para comprobar que el ratio aproximado era correcto para una vivienda estándar se consultó con un arquitecto, el cual corroboró que el ratio era adecuado para un cálculo general.

Una vez se tiene el ratio se escogen las zonas de la vivienda que van a necesitar calefacción. Dentro del plano nº1 del trabajo se han excluido zonas como el garaje y el cuarto de calderas, zonas que no van a necesitar que se calienten. La superficie a calentar es: 89,37 m². Las superficies se encuentran incluidas en el plano nº1.

La potencia necesaria por calefacción es:

$$P_{\text{calef}} = 100 \text{ W/m}^2 * 89,37 \text{ m}^2 = 8937 \text{ W} = 8,937 \text{ kW}$$

b) Potencia requerida por agua corriente sanitaria (A.C.S.)

Para el cálculo de la potencia requerida por A.C.S. en una vivienda se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{A.C.S.} = m * C_p * \Delta T$$

donde:

- $P_{A.C.S.}$: Es la potencia requerida por el A.C.S. ($kcal/h$)
- m : Caudal de agua a calentar (kg/h)
- C_p : Calor específico del agua ($1 kcal/kg * ^\circ C$)
- ΔT : Salto térmico del fluido.

El código técnico de la edificación (C.T.E.) indica que hay que tener en cuenta el número máximo de personas simultáneas presentes en la vivienda, así como el consumo de agua de cada persona será 30 l/persona con una temperatura del agua de 60 °C para evitar problemas de legionela. Como en la vivienda que se ha diseñado pueden residir 3 personas de normal peor podrían vivir 4, se ha realizado el siguiente cálculo:

$$30 \text{ l/persona} * 4 \text{ personas} = 120 \text{ litros}$$

Teniendo en cuenta que se considera un calentamiento de agua de 30 minutos con un salto térmico de 50 °C, y que la densidad del agua es 1 kg/l, el cálculo de la potencia requerida por A.C.S. será el siguiente:

$$P_{A.C.S.} = \frac{120}{0,5} * 1 * (60 - 10) = 12000 \text{ W} = 12 \text{ kW}$$

7.1.2 Cálculo de la demanda energética

Para la realización del cálculo de la demanda energética debida a A.C.S. y calefacción en la vivienda se tendrá en cuenta un coeficiente de intermitencia de 85% así como una estimación de las horas al año de funcionamiento de la caldera en una vivienda situada en Pamplona, que son: 1493 h/año.

Se ha escogido dentro la variedad de opciones de calderas presentes en el apartado 6 la caldera Hergom Gredos 25 con 25 kW de potencia, debido principalmente a ser la que mas se ajusta a la potencia requerida por nuestra vivienda, y al precio de la misma, debido a que hay una diferencia considerable con calderas de la misma potencia de otras marcas.

a) Demanda energética calefacción

El cálculo de la demanda energética de la calefacción de la vivienda será:

$$\text{Demanda}_{\text{calefac}} = \text{Potencia}_{\text{caldera}} * \frac{\text{n}^{\circ} \text{ horas uso}}{\text{año}} * \text{coeficiente intermitencia}$$

$$\text{Demanda}_{\text{calefac}} = 25 \text{ (kW)} * 1493 \frac{\text{horas}}{\text{año}} * 0,85 = 31726,25 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

b) Demanda energética A.C.S.

La demanda energética de A.C.S. estará marcada por la siguiente relación:

$$\text{Demanda}_{\text{A.C.S.}} = n^{\circ} \text{ personas} * \text{demanda al día} * n^{\circ} \text{ días} * C_p * \Delta T$$

El cálculo será el siguiente:

$$\text{Demanda}_{\text{A.C.S.}} = 4 * 30 \frac{\text{l}}{\text{día}} * 365 \text{ días} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^{\circ}\text{C}} * (60 - 10) = 2190000 \frac{\text{kcal}}{\text{año}}$$

$$\text{Demanda}_{\text{A.C.S.}} = 2190000 \frac{\text{kcal}}{\text{año}} = 2546,51 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

La demanda energética total será la suma de las demandas energética de calefacción y A.C.S, por lo que:

$$\begin{aligned} \text{Demanda}_{\text{Total}} &= \text{Demanda}_{\text{A.C.S.}} + \text{Demanda}_{\text{calefac}} = 31726,25 + 2546,51 = \\ &= 34272,76 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Como la caldera elegida tiene un rendimiento de 88 %, la el consumo energético (CE) de la caldera será:

$$\text{CE} = \frac{\text{Demanda}}{\eta_{\text{caldera}}} = \frac{34272,76 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{0,88} = 38946,32 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

7.1.3 Combustible necesario

La cantidad de combustible (CC) necesario para dicha caldera con las condiciones impuestas por la vivienda será la siguiente:

$$CC = \frac{CE}{PC}$$

donde:

- CC: Cantidad de combustible (Kg/año)
- CE: Consumo energético de la caldera $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}}\right)$
- PC: Poder calorífico del biocombustible que se usará para la caldera $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}\right)$

Para obtener el poder calorífico del alperujo supondremos que el biocombustible se encuentra con una humedad aproximada de 15 %, donde los ensayos de la campaña 2015-2016 aportan los siguientes datos para una humedad de 17,45 %:

	1 ^{er} ensayo	2 ^o ensayo	3 ^{er} ensayo	4 ^o ensayo	5 ^o ensayo
Masa (gr.)	1,1024	1,1194	1,1563	1,1326	1,2832
P.C.S. (KJ/KG)	18989,50	18797,12	18722,48	18946,49	18644,61

Tabla 40: Humedad 17,45 %. Ensayo campaña 2015-2016

El valor medio de poder calorífico para este valor de humedad es:

$$P.C. = \frac{18989,5 + 18797,12 + 18722,48 + 18946,49 + 18644,61}{5} = 18820,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P.C. = 18820,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \frac{18820,04}{3600} = 5,23 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

El cálculo para el combustible necesario es:

$$CC = \frac{38946,32 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{5,23 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 7449,86 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

La cantidad necesaria de alperujo para las demandas de la vivienda será de:

$$7449,86 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

7.1.4 Espacio requerido para el combustible

Para obtener el dato del espacio requerido aproximado para tener las reservas necesarias de dicho combustible para todo el año en la vivienda, se parte del hecho de que al ser muy parecido a la tierra, el volumen que ocupa 1 kg de alperujo es aproximadamente 1 litro del mismo. En la realidad este dato será menor, pero se va a tomar como punto de partida un caso desfavorable con una densidad de 1 kg/l.

EL volumen necesario para la vivienda del plano nº1 adjunto en este trabajo será de $7449,86 \frac{\text{l}}{\text{año}}$.

El volumen del cuarto de caldera, tomando el área de la misma y una altura de techos de 2,5 m será: $10,22 \text{ m}^2 * 2,5 \text{ m} = 25,55 \text{ m}^3 = 25550 \text{ l}$

Teniendo en cuenta que la caldera elegida, modelo Hergon gredos 25 ocupa un volumen aproximado de: $1504,28 \text{ m}^3$, tal y como indican las dimensiones presentes en el anexo, la vivienda dispondrá de espacio de sobra para tener la carga suficiente para un año. En caso de tener una vivienda mas pequeña, se podrán realizar dos cargas a lo largo el año para así poder abastecer a la caldera.

7.1.5 Comparativa combustibles

En este apartado se compara el poder calorífico superior del alperujo respecto de otros biocombustibles utilizados actualmente en calderas. Con la siguiente tabla se pretende tener como comparación otros combustibles, lo que servirá para poder sacar conclusiones sobre su posible utilización real en calderas.

Combustibles	Poder Calorífico Superior (PCS)
Alperujo (30 % humedad)	4,45 kWh/kg
Gasóleo	9,94 kWh/l
Gas Natural	12,77 kWh/l
Leña (30 % humedad)	4,25 kWh/kg
Astilla (30 % de humedad)	3,5 kg
Pellets	4,9 kWh/kg

Tabla 41: Comparativa poder calorífico biocombustibles

Se puede observar como el poder calorífico superior del alperujo con un 30 % de humedad tiene gran similitud con el pellet, siendo este último un poco mas energético.

Comparado con combustibles como la leña y la astilla, realizado todo bajo las mismas condiciones de humedad (30 %), se puede apreciar que el alperujo es un poco mas energético que la leña, y entorno a 1 kWh/kg mas que la astilla.

Respecto a otros combustibles mas comunes como lo son el gasóleo y el gas natural, hay una fuerte diferencia en su poder calorífico superior, siendo el gas natural usado en viviendas en ciudad el mas energético de todos los combustibles presentes en la lista.

8. Conclusiones y líneas de futuro

Una vez realizada la evaluación y el estudio del aprovechamiento de los residuos provenientes del trujal Mendía situado en Arróniz y tras haber realizado las pruebas pertinentes en el calorímetro de la Universidad Pública de Navarra, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El residuo proveniente del proceso de elaboración de la aceituna, o también denominado alperujo, cumple en perfectas condiciones los requerimientos energéticos para su implantación en el mercado actual de biocombustibles, teniendo mayores valores dentro del mismo valor de humedad, que otros combustibles tal que leña y astillas, tal y como aparece en el apartado 5.8 *Comparativa de combustibles*. Así mismo, el alperujo tiene valores energéticos no muy alejados de combustibles que se encuentran muy de moda como son los pellets.
- Uno de los mayores inconvenientes para el uso cotidiano del alperujo como combustible en calderas de viviendas o industriales, tal y como han asegurado distintos proveedores de diferentes marcas tras haber obtenido información de ellos, se ha llegado a la conclusión de que el aceite que aun tiene el material es un gran inconveniente. Dicha cantidad, aunque mínima es suficiente para que durante un uso prolongado dicho combustible corroa las vasijas de cerámica de las calderas donde se produce la combustión de los elementos. Esto es un grave problema que se puede solucionar mediante un centrifugado mas exhaustivo del material por parte de los trujales para extraer una mayor cantidad de aceite del material. Como todo, este procedimiento requiere un mayor coste para el trujal lo que se vería reflejado en un aumento del precio del residuo.

- Los proveedores de calderas comentaron que el alperujo quemado en calderas también tiene otro problema: las cenizas. Este residuo una vez quemado deja un porcentaje elevado de cenizas respecto de su masa inicial. Este hecho se corroboró mediante la realización de una prueba en donde se quemó un bloque de alperujo en una chimenea casera, y se pudo apreciar como los restos de cenizas que quedaron después de su combustión eran considerables aunque parecidos a los que dejaba la leña . Este hecho puede jugar en contra de la implantación del alperujo en calderas de biocombustible puesto que puede llegar a ser un inconveniente para el usuario, puesto que tiene que estar cambiando el depósito de cenizas con mas frecuencia que con otro combustible. Este punto juega en contra del alperujo comparándolo con los pellets, donde su porcentaje de cenizas va desde 0,7 % hasta 3 %, dependiendo de su procedencia.
- Después de analizar el secado a la intemperie y el secado mediante centrifugación, cabe destacar que el mayor inconveniente para el primer secado es la disponibilidad de un terreno con la superficie necesaria para el secado de toda la producción, así como la localización del mismo sobre una zona donde haya viento, y poca frecuencia de lluvia. En el apartado *5.6.1 Mejora de secado a la intemperie* se incluye una mejora para este método. Sobre el secado mediante centrifugación el primer problema, al igual que para la eliminación de aceite para las calderas, es el coste económico que supone para el trujal.

- Llegado el punto en donde se pueda comercializar el alperujo con un 40 % de humedad como máximo para poder ser capaces de que el residuo se pueda usar en la caldera, se procedería a quemar una primera muestra de alperujo con objeto de aprovechar la energía producida por 1 kg de residuo con 40 % de humedad para secar aproximadamente 20 kg de alperujo con un porcentaje de humedad del 40 % hasta el 15 %, momento en donde el residuo con bajo nivel de humedad se quemaría obteniendo un porcentaje más elevado de poder calorífico superior. Así mismo, parte de la energía obtenida en la combustión del alperujo con el 15 % de humedad se destinaría a seguir bajando el porcentaje de humedad de las siguientes muestras de combustible. Todo este proceso sería en continuo.

Finalizada la etapa de evaluación de residuos y tras analizar los resultados obtenidos en el trabajo y haber tenido en cuenta los problemas derivados del residuo, se puede decir que el residuo proveniente de la obtención de aceite de oliva en un trujal puede tener un uso en calderas como biocombustible tras analizar más profundamente el coste de centrifugación para la eliminación de aceite y agua del residuo, todo ello asumido por el trujal. Cabe destacar que para líneas futuras la opción sobre el procedimiento de secado puede llegar a ser viable constando de dos partes, una primera en donde se produzca la centrifugación del residuo para así eliminar dos problemas a la vez, el aceite que aun queda en el residuo, y también bajar el porcentaje de humedad del mismo. A partir de este punto, habría que realizar un estudio exhaustivo acerca de cuanto tiempo debería de permanecer el residuo en la centrifugadora y a cuantas revoluciones para obtener como objetivo un residuo con el mínimo aceite y con bajo porcentaje de humedad. La segunda parte se podría realizar mediante un secado a la intemperie sobre un terreno. Igualmente, habría que estudiar cuanto tiempo estaría el residuo a la intemperie dependiendo de la localización del terreno.

Los detalles anteriormente mencionados pueden ser útiles para que el alperujo sea un buen biocombustible y pueda competir con otros en el mercado nacional e internacional.

Bibliografía

- [1] Fundamentos de termodinámica técnica. Autores: Michael J. Moran y Howard N. Saphiro. Editorial: Reverté.
- [2] Combustión y quemadores. Autor: Manuel Márquez Martínez. Editorial: Productica.
- [3] Manuales Técnicos y de instrucción para conservación de energía. 1. Combustibles y su combustión. Centro de estudios de la energía.
- [4] Energía de la biomasa. Autores: Fernando Sebastián Nogués, Daniel García Galindo y Adeline Rezeau.
- [5] Los biocombustibles. Autores: Francisco Marcos Martín y Manuel Camps
- [6] Determinación de las características energéticas de la tusa de maíz con variación del contenido de humedad, densidad y relación aire-combustible. Tesis de grado maestría maestría en energías renovables. Autores: César Rafael Espinoza Almache y Gabriela del Carmen Torres Rodriguez.
- [7] Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles. Autores: Dimas Da Silva, Denise Schmidt, Rogério Bamberg, Elder Eloy y Ana Dalla. Departamento de ciencias forestales de la Universidad de Paraná.
- [8] Poder calorífico de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán. Autores: Oscar A. Díez, Gerónimo J. Cárdenas y Luis F. Mentz.
- [9] Evaluación de biomasa olivícola a partir de la caracterización química y el poder calorífico. Autores: D. Carluccio, J. Trejo, M. Pozzi y A. J. Filippin. Universidad nacional de Catamarca.

Normas

- [1] UNE-EN 14774-1 de julio de 2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad total. Método de referencia.

- [2] UNE-EN 14774-2 de julio de 2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 2: Humedad total. Método simplificado.

- [3] UNE-EN 14774-3 de julio de 2010. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad de la muestra para análisis general.

- [4] UNE-EN 14918 de febrero de 2011. Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico.

- [5] UNE-EN 14778 de junio de 2013. Biocombustibles sólidos. Muestreo.

- [6] UNE-EN 14780 de mayo de 2012. Biocombustibles sólidos. Preparación de muestras.

- [7] UNE-EN 15170 de mayo de 2019. Caracterización de lodos. Determinación del poder calorífico.

Webgrafía

<http://www.trujalmendia.com/cultivo.php>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Aceituna>

<http://www.aceitedeoliva.com/aceite-de-oliva/obtencion-aceite-de-oliva/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Poder_calor%C3%ADfico

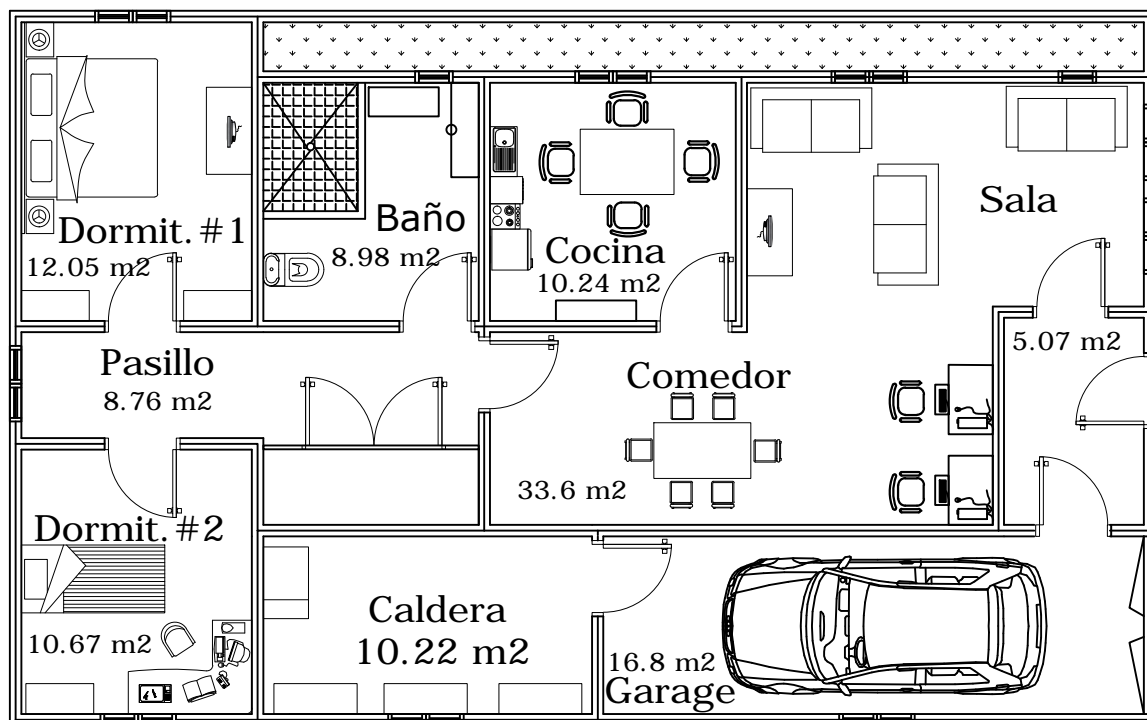
www.lasian.es

www.hergomalternative.com

<http://www.metalfach.es/calderas-policombustibles/serie-sd-duo-bio.html>

Planos

- Plano nº1: Planta vivienda



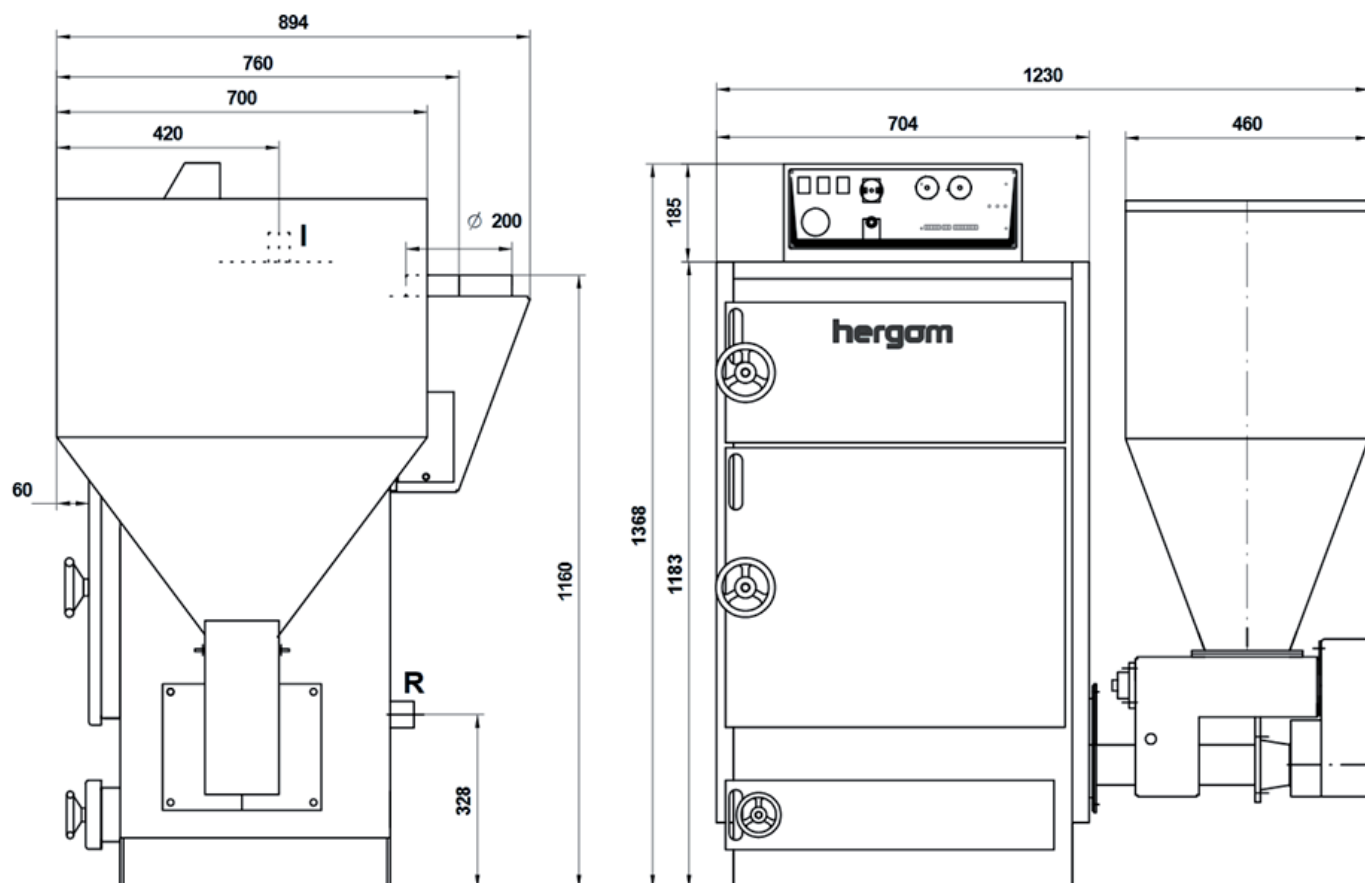
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE ING. MECANICA, ENERGETICA Y DE MATERIALES		
		TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: SENOSIAIN CORERA, XABIER		
PROYECTO: EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS DE TRUJAL			FIRMA:		
PLANO: PLANTA VIVIENDA			FECHA: 05/17	ESCALA: 1:100	Nº PLANO: 1

Anexo: Características técnicas caldera Hergom Gredos 25

Gredos

Calderas de biomasa

Dimensiones y datos técnicos



Modelo	kW*	Kcal/h*	Volumen agua (l)	Presión máxima de trabajo (bar)	Temperatura máxima de trabajo (°C)	Temperatura mínima accionamiento bomba (°C)	Diámetro de chimenea (mm)	Tiro mínimo de chimenea (Pa)	Conexión ida / retorno	Tensión de red (V)	Frecuencia de red (Hz)	Número de potencias	Capacidad tolva (l)
Gredos	25	21.500	60	3	90	60	200	20	1"	220	50	6	200

*Potencias obtenidas utilizando pellets EN 1496-1 (A1). Otros combustibles, consultar.